أصول الجيومورفولوجيا

دراسة الأشكال التضاريسية لسطح الأرض

تأليف

دكتور

حسن سيد أحمد أبو العينين

M. A. (1962) Ph. D., Sheffield Univ (1964) U. K.

أستاذ الجغرافيا الطبيعية

جامعة الامارات العربية المتحدة

الطبعة الأولي ١٩٦٦

الطبعة الحادية عشرة ١٩٩٥

(معدلة تعديلا شاملا)

مؤسسة الثقافة الجامعية

٤٠ شارع مصطفى مشرفة ت : ٤٨٣٥٣٢٤

الاسكندرية

أصول الجيومورفولوچيا

الإهداء

إلى ... حسام

بسم الله الرحمن الرحيم

«أعلم أنه قد تبين فى كتب الحكماء الناظرين فى أحوال العالم أن شكل الأرض كروى ، وأنها محفوفة بعنصر الماء كأنها عنبة طافية عليه ، فانحسر الماء عن بعض جوانبها لما أراد الله من تكوين الحيوانات فيها وعمرانها بالنوع البشرى الذى له الخلافة على سائرها، وقد يتوهم من ذلك أن الماء تحت الأرض وليس بصحيح وانما التحت الطبيعى قلب الأرض ووسط كرتها ، الذى هو مركزها ، والكل يطلبه بما فيه من الثقل وما عدا ذلك من جوانبها ، وأما الماء المحيط بها فوق الأرض .....»

ابن خلدون

تصـــدير

إذا كانت الأبحاث الجغرافية ـ بفروعها المختلفة ـ قد بلغت فى البلاد العربية من التقدم ما نعرفه عنها الآن ، فإن الدراسة الجيومورفولوجية لم يكن لها من ذلك نصيب كبير ، وليس ذلك راجعا إلى أن أصول هذا العلم وقواعده جد حديثة بالنسبة لغيرها من الأبحاث الجغرافية ، بل انه يرجع ـ فى أساسه ـ إلى أن الدراسة الجيومورفولوجية تحتاج إلى باحثين تمرسوا بالعلوم الجيولوجية الطبيعية تمرسا حقليا ، بالاضافة إلى إلمامهم بالمعرفة الجغرافية العامة ، لأن هذا الإلمام وذلك التمرس يؤديان إلى فهم العلاقات المتبادلة بين تكوينات الصخور المختلفة ونظام بنائها وتطور الظاهرات الجيومورفولوجية العامة وتوزيعها الجغرافى فوق أجزاء سطح هذا الكوكب الذى نعيش عليه .

ولقد بدأ البحث الجيومورفولوجى فى جمهورية مصر العربية على أيدى الجيولوجيين ـ شأنها فى ذلك شأن الدول الأخرى (من بينها إنجلترا وألمانيا وفرنسا والولايات المتحدة الأمريكية) . ونذكر من بين هؤلاء حسن صادق (١٩٣٠) ، وعبده شطا (١٩٦٠) ، ورشدى سعيد (١٩٦٢) . وإلى هؤلاء الجيولوجيين وغيرهم يرجع الفضل فى مسح الأراضى المصرية جيولوجيا ، وتمييز المظهر الجيومورفولوجى العام للأجزاء المختلفة منها حسب تنوع تكوينها الصخرى ونظام بناء طبقاتها . لكن الذى يؤخذ على بعض هذه الدراسات أنها كانت جيولوجية بحتة ، أو بمعنى آخر ، أن هؤلاء الكتاب قد عنوا بدراسة تنوع الصخر وترتيب طبقاته أكثر من عنايتهم بدراسة الظاهرات الناتجة عن فعل عوامل التعرية بعد تفاعلها مع هذا الصخر ، وظهور هذه الظاهرات على سطح الأرض بصور مختلفة خلال فترات زمنية متعاقبة .

ولقد أسهم أيضاً بعض الجغرافيين فى وضع أساس المعرفة الجيومورفولوجية فى مصر وذلك فى كتب عامة تناقش تضاريس سطح الأرض ، أو فى مقالات علمية جيومورفولوجية ، ونذكر من بينهم محمد

متولى موسى ، وحسان عوض ، ومحمد صفى الدين ، ويوسف أبو الحجاج ، وعلى شاهين ، وصلاح البحيرى . غير أنه يؤخذ على بعض كتابات هؤلاء أنها أولت الدراسة الموضوعية العامة اهتماماً كبيراً ، وأن بعضا من هؤلاء الكتاب أشاروا إلى قواعد هذا العلم دون تطبيق مدلولاتها ونظرياتها عمليا فى أقاليم مختلفة لسطح الأرض ، ومن ثم تفتقر بعض هذه الدراسات إلى نتائج مستمدة من الأبحاث الحقلية والدراسات الكمية التى تسهم بدورها فى طرح حلول للمشاكل الجيومورفولوجية .

وليس من شك فى أن هناك مشاكل أخرى تواجه الدراسة الجيومورفولوجية فى مصر ، ومنها مشكلة تعريب المصطلحات العلمية الجيومورفولوجية دون اضطراب معانيها ، ذلك أن معظم هذه المصطلحات دخيلة على اللغات الحديثة لأنها تتألف ـ فى الأغلب ـ من مقاطع مختلفة من اللغتين اليونانية واللاتينية . ومن ثم كان من الصعب طرح مصطلحات عربية مقابلة تدل على نفس المعنى الذى تدل عليه المصطلحات الجيومورفولوجية الأجنبية دلالة دقيقة .

وتكاد المكتبة العربية تخلو من الكتب الجيومورفولوجية المرجعية العامة ما عدا كتاب «وجه الأرض» لمحمد متولى موسى (١٩٥٤) ، وكتاب «قشرة الأرض» لمحمد صفى الدين (١٩٥٧) : من أجل ذلك وجدت الحاجة ماسة إلى أن أقدم إلى طلابى بجمهورية مصر العربية وإلى دارسى هذا العلم فى جامعات البلاد العربية الأخرى ، هذا الكتاب المرجعى الذى يختص أساسا بشرح معالم الدراسة الجيومورفولوجية وإيضاح قواعدها وأصولها ، وعرض مناهجها الحديثة ووسائل البحث فيها .

وليست معلومات هذا الكتاب قاصرة على ما تحتويه الكتب الأجنبية فى هذا العلم ، بل تحمل أيضا ثمار مجهود شخصى شاق ، استمر نحو خمس سنوات (١٩٦٠ إلى نهاية ١٩٦٤) قضيتها فى دراسة أصول هذا العلم ـ علمياً وعملياً ـ بجامعة شفيلد بانجلترا . ولقد كنت أعمل أربعة أيام أسبوعيا فى البحث

الجيومورفولوجي الحقلى فوق سفوح جبال البنين البريطانية ، بقصد إنشاء الخرائط التفصيلية الجيومورفولوجية الحقلية لظواهر سطح الأرض المختلفة ، ودراسة مراحل تطورها ومدى تأثرها بعوامل التعرية المختلفة .

ولقد بذلت ما فى وسعى من جهد لتبسيط معلومات هذا الكتاب لتناسب الطالب الجامعى فى البلاد العربية ، وشفعتها بدراسات تطبيقية حقلية مستمدة من أبحاثى الخاصة عن القسم الجنوبى الشرقى لجبال البنين البريطانية ، وشمال شبه جزيرة سيناء ، ورودت الكتاب بنحو تسعين شكلا توضيحيا تعين القارئ على فهم الظواهر الجيومورفولوجية وادراك مراحل تطورها المختلفة . كما عنيت فى الوقت نفسه باختيار ما رأيته أوفق الألفاظ العربية المقابلة للمصطلحات الأجنبية المستعملة فى هذه الدراسة .

وانى إذ أدرك أن الدراسة الجيومورفولوجية لا تزال بكرا فى البلاد العربية ، فإننى بهذا الكتاب أرجو أن أكون قد وضعت علامات ضوء فى طريقها ، ولعل هذا الكتاب يسهم فى ملء جزء من الفراغ الذى تعانيه المكتبة العربية . كما أرجو كذلك أن أكون قد ساهمت فى حمل لواء الجامعة ، بمشاركتى الإيجابية فى القيام بتنفيذ رسالتها السامية ، وذلك بتعليم أبناء جيلنا العربى وشبابه ، وتعميم المعرفة بين الطلاب وغيرهم من المثقفين داخل أسوار الجامعة وخارجها .

ولعله من فضول القول أن أشير إلى أننى لا أجزم بأن هذا الكتاب قد خرج خاليا من كل عيب ، بعيدا عن كل نقص ، لكن الذى أستطيع أن أجزم به وأن أؤكده ، أننى أقدم هنا مجهوداً علمياً أعرف أنه غير قليل ، راجيا أن أفيد به طلاب العربية فى هذا المجال وأن أفيد فى الوقت نفسه من النقد البناء الذى أرجو أن يقدمه كل من يهمه تطور هذه الدراسة وتقدمها فى العالم العربى .

والله وحده ولى التوفيق

المؤلف

سوتير ـ الاسكندرية

١٩٦٦/٣/١٥

مقدمة

يرجع الفضل إلى العالم الأمريكى وليم موريس دافيز (١٨٥٠ - ١٩٣٤) فى تحديد هذا العلم وتمييز مجاله وجعله علما متميزا عن كل من الجيولوجيا الطبيعية *Physical Geology* ، والجغرافيا الطبيعية *Physical Geography* . وعلى الرغم من مرور أكثر من ثلاثين عاما بعد دافيز فإن آراءه مازالت تشكل القلب النابض للدراسات الجيومورفولوجية فى الوقت الحاضر . وقد اتبع الكاتب فى سرد معلومات هذا الكتاب وبياناته وما جاء فى موضوعاته المنهج الدراسى الدافيزى القائم على أساس الدراسة الوصفية لظواهر سطح الأرض المختلفة فى الحقل ، وتتبع مراحل تكوينها منذ بداية نشأتها إلى صورتها الراهنة . وقد كان القصد من اتباع هذا المنهج بالذات دون غيره من المناهج الكمية الحديثة ، أن أيسر الأمر للقارئ العربى حتى يتسنى له فهم قواعد هذه الدراسة وادراك أصولها .

وينقسم الكتاب إلى عشرة أبواب تضم واحداً وعشرين موضوعا ، ويختص الباب الأول بتعريف هذا العلم وتطور الدراسة الجيومورفولوجية ومناهجها ووسائل البحث فيها ، حتى يتيسر لكل من يرغب فى القيام بأبحاث علمية جيومورفولوجية أن يدرك الوسائل المختلفة التى قد تعينه على انجاز هذه الأبحاث . وفى هذا الباب عرض لبعض المفاهيم المهمة التى يجب أن يضعها باحث الجيومورفولوجيا أو القارئ لها فى الحسبان ، حتى تتجلى له مسالك كثير من العقبات التى قد تصادفه فى هذه الدراسة .

ثم أختص الباب الثانى بالاشارة إلى الخصائص العامة لقشرة الأرض ، والأغلفة الكبرى التى تتركب منها وتحيط بها ، والتى لها أكبر الأثر فى تشكيل مجموعات الصخور المختلفة من ناحية ، وتحديد عوامل التعرية ومجالها ونشاطها من ناحية أخرى .

وقد عالج الباب الثالث أثر تنوع التكوين الصخرى ونظام بنية الطبقات فى تشكيل الظاهرات الجيومورفولوجية فوق سطح هذا الكوكب الذى نعيش عليه . ويضم هذا الباب عرضا عاما لمجموعات الظواهر التركيبية الرئيسة التى تتكون عادة فى كل من الطبقات الأفقية ، والمائلة والصدعية والمنثنية المحدبة والمنثنية المقعرة والصخور البركانية فوق أجزاء سطح الأرض . ولعلى أشير هنا إلى أن قدراً كبيرا مما ورد فى هذه الموضوعات قد كان نتيجة الخبرة العملية وإلمام الباحث بدراسات التطور الجيومورفولوجى لمثل هذه الظواهر حين تهيأ له دراستها دراسة عملية حقلية فى بريطانيا .

ثم ناقش الباحث فى البابين الرابع والخامس أثر فعل كل من التجوية والانزلاقات الأرضية والمجارى النهرية فى تشكيل الظواهر الجيومورفولوجية الكبرى فوق سطح الأرض . ومن المعلوم أن دراسة كل من عمليات زحف التربة والانزلاقات الأرضية والظواهر الناجمة عنها ودراسة مجموعات السهول التحاتية والتطور الجيومورفولوجى لبعض مناطق سطح الأرض ، من الدراسات الحديثة فى علم الجيومورفولوجيا . ولقد عرض الباحث لما جاء بخصوص هذه الموضوعات ، مستعينا على ذلك بما هيئ له من الخبرة الحقلية والقيام بالأبحاث العلمية الخاصة به . ولعلى لا أغالى كثيرا إذا قلت أن هذا الكتاب يعرض لأول مرة مثل هذه الموضوعات على قارئ العربية بصورة تفصيلية .

أما الباب السادس فيضم دراسة فعل البحر وأثره فى تشكيل بعض الظاهرات الجيومفولوجية . ولما كانت أرض جمهورية مصر العربية بل والعالم العربى تقع فى نطاق العروض المدارية الصحراوية ، فقد أوليت عناية خاصة عرض لما تقدم حتى الآن فى الدراسات الجيومورفولوجية الحديثة وبما يتعلق بالمناطق الحارة الجافة ، والحديث عن امكانات المياه الجوفية ومظاهرها المختلفة فوق سطح الأرض وذلك فى البابين السابع والثامن . ولأول مرة كذلك يعرض هذا الكتاب على قارئ العربية لكيفية تصنيف

المناطق الصحراوية إلى أقاليم جيومورفولوجية مختلفة ، يتميز كل منها بطابعه وشخصيته الجيومورفولوجية المتميزة . ثم ناقش الكتاب دراسة أوجه الشبه والاختلاف بين الأقاليم الجيومورفولوجية الثانوية ، فى بعض أجزاء من الصحارى الحارة الجافة فى العالم ، وخاصة فى جمهورية مصر العربية والمملكة العربية السعودية والجمهورية العربية الليبية وشمال غرب أفريقيا ، وصحارى نيفادا وأريزونا وكلوراد بالولايات المتحدة الأمريكية .

ومن المعلوم أن أكثر من ثلاثة أرباع سطح قشرة الأرض ، يعزى مظهرها الجيومورفولوجى إلى حدوث التغيرات المناخية البلايوستوسينية ، هذا إلى جانب أثر هذه التغيرات فى تذبذب مستوى سطح البحر منذ نهاية عصر البلايوستوسين . من أجل ذلك تناول الباحث فى الباب التاسع الحديث عن العصر الجليدى البلايوستوسينى ، وعرض لدراسة مقارنة بين الفترات الجليدية وتلك شبه الجليدية فى كل من الجزر البريطانية ، وبقية أوربا ، وأمريكا الشمالية من ناحية ، ثم دراسة أثر الذبذبات المناخية البلايوستوسينية فى تشكيل بعض الظاهرات الجيومورفولوجية فى المناطق الجليدية من ناحية أخرى .

أما الباب العاشر (الأخير) فقد أشار الباحث فيه إلى أهمية الدراسة الجيومورفولوجية فى الوقت الحاضر ، إذ أن قواعد هذا العلم وأصوله لم تبن لخدمة هذه الدراسة نفسها فقط ، بل أن نتائج الأبحاث الحديثة فيها تقدم معلومات مهمة لغيرها من العلوم الأخرى مثل الجيولوجيا والهيدرولوجيا والجغرافيا والهندسة المدنية . وقد استفادت دول كثيرة (مثل انجلترا وألمانيا وفرنسا والولايات المتحدة الأمريكية) من المعرفة الجيومورفولوجية للاستعانة بها عند تنفيذ عمليات انشاء المطارات واقامة السدود والخزانات ، بل جندت الولايات المتحدة الأمريكية مئات الخبراء من الجيومورفولوجيين للاستعانة بمعلوماتهم فى الأغراض الحربية وتحليل مظهر سطح الأرض ودراسة ظواهره من الصور الجوية .

وبعد فإن هذا الكتاب بما عالج من الموضوعات الجيومورفولوجية ومشكلاتها ، وبما تحدث عن نقاط جديدة تمثل جوهر الأبحاث الجيومورفولوجية الحديثة فى العالم ، وهى تلك التى لم يسبق للقارئ العربى أن تعرف على الكثير منها ، أشعر إن هذا الكتاب ـ دون مغالاة ـ يعد اضافة جديدة للمكتبة العربية .

مقدمة الطبعة الثانية

بعد نفاذ جميع نسخ الطبعة الأولى من هذا الكتاب فى أقل من عامين لا يسعنى إلا أن أتوجه بجزيل الشكر والعرفان للقارئ العربى الذى قدر المجهود الذى بذل فى انشاء هذا الكتاب . واليوم يسعدنى أن أقدم إليه الطبعة الثانية منه ، مزيدة ومنقحة عن الطبعة الأولى ، حيث عنى الباحث فى هده الطبعة باختيار أوفق المصطلحات الجيومورفولوجية وبمقارنتها بما جاء فى تقرير المجلس الأعلى لرعاية الفنون والاداب والعلوم الاجتماعية عن المصطلحات الجيومورفولوجية فى عام ١٩٦٥ . وقد زود الكتاب بنماذج إضافية لنتائج دراسات جيومورفولوجية حقلية تطبيقية لبعض مناطق من الأراضى اللبنانية والتى قام الباحث بإجرائها خلال عامى ١٩٦٧ و ١٩٦٨ . وأرجو بهذا الكتاب الجديد أن أكون قد بذلت بعض الجهد فى تفسير مبادئ الدراسات الجيومورفولوجية وأصولها للقارئ العربى .

والله وحده ولي التوفيق

المؤلف

سوتير فى ٨ أغسطس سنة ١٩٦٨

مقدمة الطبعة الثالثة

يسعد الكاتب أن يقدم الطبعة الثالثة من «أصول الجيومورفولوجيا» فى ثوب جديد وذلك بعد مرور حوالى عشر سنوات على بداية ظهور طبعته الأولى عام ١٩٦٦ ، وحتى قبيل هذه الطبعة الجديدة كان الكتاب بصورته التقليدية السابقة - إلى حد كبير - مرجعا رئيساً فى الجيومورفولوجيا لطلاب الجغرافيا فى كثير من جامعات العالم العربى .

ويعرض الكاتب فى هذه الطبعة الثالثة لأول مرة أصول الجيومورفولوجيا المعاصرة ، وعلى ذلك يضم هذا الكتاب فصلاً جديداً عن دراسة المنحدرات ، وتحليلها جيومورفولوجياً وكمياً ، وإيضاح أهمية هذه الدراسة بالنسبة للجيومورفولوجيا التطبيقية . كما يتضمن الكتاب فصلا جديدا عن الدراسة المورفومترية للمياه الجارية ، وهو موضوع على الرغم من أهميته وحيويته إلا أنه لم ينل حقه من الدراسة من قبل فى أى من الكتب المرجعية العربية فى الجغرافيا الطبيعية .

وقام الكاتب بإعادة تصنيف أبواب هذا الكتاب عما كان عليه فى طبعته الأولى ، وأصبح يشتمل على ستة أبواب فقط ، ويتألف كل منها من عدد مختلف من الفصول احتوت على كثير من النقاط والموضوعات الجديدة فى الجيومورفولوجيا .

ويجد القارئ فى الباب الأول من هذا الكتاب فصلا جديدا عن المدارس الجيومورفولوجية المعاصرة فى العالم ، والتحليل المنهجى لمدرسة الجيومورفولوجية المناخية ، وطرائق تصنيف العالم إلى أقاليم مورفومناخية حتى يتعرف القارئ فى البلاد العربية على مختلف موضوعات الجيومورفولوجيا المعاصرة ومناهجها .

وإلى جانب بعض الصور الفوتوغرافية التى قام الباحث بتصويرها لكثير

من الظاهرات الجيومورفولوجية ووضعها فى هذا الكتاب وجد الباحث أنه من المفيد الاستفادة من بعض الصور المثالية الأخرى لبعض ظاهرات سطح الأرض والموجودة فى الكتب الجيومورفولوجية الأجنبية المرجعية ، وقد وضع الباحث بعضا منها فى هذا الكتاب حتى يتعرف الطالب على أشكال الظاهرات المختلفة لسطح الأرض والتى قد لا تتاح له الظروف من أن يشاهدها فى الحقل فى أى من البلاد العربية .

ويأمل الكاتب أن يكون الكتاب بهذه الصورة الجديدة ، كفيلا بأن يملأ بعض الثغرات فى الدراسة الجيومورفولوجية المعاصرة فى جامعات وطننا العربى . والله أسأل أن يجعل هذا الكتاب خالصا لوجهه الكريم ، وأن يبارك لى عملى وأعمالى ، وأن يجنبنى شطط الفكر والقلم ، وأن يغفر لى ما قد أقع فيه من الخطأ والزلل ، وأن يهيئ لنا من أمرنا رشدا ، أنه قريب مجيب .

سوتير ـ الاسكندرية

يناير ١٩٧٦

المؤلف

د. حسن أبو العينين

مقدمة الطبعة الحادية عشرة

بعد مُضى أكثر من ست سنوات على ظهور الطبعة العاشرة من هذا الكتاب ، وما انتابه (من قِبل بعض الناشرين ذوى النفوس الضعيفة) من إعادة تصويره ونشره وتوزيعه دون علم الكاتب أو اخطاره بذلك ، وظهور طبعات الكتاب المصورة فى مظهر ردئ ، رأيت من واجبى مراجعة هذا الكتاب وتحديثه واعادة نشره فى ثوب جديد .

ومنذ السبعينيات من هذا القرن تأثر علم الجغرافيا وكل أفرعه المختلفة (كغيره من بقية العلوم الأخرى) بثورة المعلومات الهائلة التى انفجرت ينابيعها القوية الفياضة بإستخدام التقنيات الحديثة وأساليب البحث المطورة ، وكان لهذا الأمر أثره الفاعل فى تطور علم الجيومورفولوجيا وتشكيل اتجاهاته المعاصرة .

ومن ثم عنى الكاتب فى هذه الطبعة الجديدة بإبراز دور كل من أساليب البحث الكمية والاستشعار من بعد واستخدام الحاسب الآلى ونظم المعلومات الجغرافية فى تطور الفكر الجيومورفولوجى وتعدد اتجاهاته . وقد أعاد الكاتب ترتيب محتويات الكتاب عما كان عليه من قبل ، وأصبح يتضمن ستة أبواب رئيسة تتألف من أربعة وعشرين فصلا .

ويعرض الباب الأول (فى خمسة فصول متتابعة) لتطور الدراسة الجيومورفولوجية ومناهجها ووسائل البحث فيها ومدارسها الفكرية ومفاهيمها الرئيسة . فى حين يناقش الباب الثانى (فى خمسة فصول متتابعة) أثر التكوين الصخرى ونظام بنية الطبقات فى تشكيل بعض الظاهرات الجيومورفولوجية التركيبية النشأة . واختص الباب الثالث بدراسة فعل التجوية وتحرك المواد وتشكيل منحدرات سطح الأرض وذلك فى ثلاثة فصول متتابعة . وناقش الباب الرابع فعل المجارى النهرية ومعالجتها

هيدروموروفومترياً ودراسة المياه الجوفية خاصة فى مناطق الكارست الجيرية وذلك فى أربعة فصول . بينما اختص الباب الخامس بدراسة جيومورفولوجية السواحل فى فصلين ، والباب السادس بدراسة جيومورفولوجية المناطق الحارة الجافة والمناطق الجليدية والعصر الجليدى البلايوستوسينى والجليد المعاصر وأهمية الدراسة الجيومورفولوجية وذلك فى خمسة فصول متتابعة .

وقد بذل الكاتب ما فى وسعه من جهد لتبسيط معلومات هذا الكتاب وتحديثها بما طرأ على جوانب هذا العلم من تغيرات كانت بمثابة نقلة نوعية هائلة فى اتجاهات الدراسة الجيومورفولوجية المعاصرة .

وأدعو الله العزيز الحكيم أن يبارك لى عملى وأعمالى ، وأن يجنبنى شطط الفكر وأن يهدينى بفضله وكرمه الى ما فيه الخير .

وبالله التوفيق

المؤلف

الإسكندرية فى ٢٠ أغسطس سنة ١٩٩٥

الباب الأول

تطور الدراسة الجيومورفولوجية
ومناهجها ووسائل البحث الحديثة فيها

الفصـــل الأول : تعريف علم الجيومورفولوجيا وصلته بالعلوم الأخرى

الفصل الثـانـي : تطور الفكر الجيومورفولوجى

الفصل الثـالث : وســائل البحـث الحديثـة فى الدراســة الجيومورفولوجية ومناهجها واتجاهاتها

الفصل الرابـع : المدارس الجيومورفولوجية المعـاصرة (مدرسة الجيومورفولوجيا المناخية)

الفصل الخـامس : بعــض المفـاهيـم المهمــة فى الدراســة الجيومورفولوجية

الفصل الأول

تعريف علم الجيومورفولوجيا

و صلته بالعلوم الأخرى

الجيومورفولوجيا علم من العلوم الجغرافية الحديثة التى لم تظهر مناهجه الدراسية واتجاهاته إلا منذ أواخر القرن التاسع عشر . وتدل المعاجم الانجليزية على أن كلمة «جيومورفولوجيا *Geomorphology*» تشمل دراسة قشرة الأرض وتمييز ظواهر أو ظاهرات السطح التى تتكون فوقها ، وعلى ذلك استخدم بعض الباحثين كلمة *Geomorphogeney* مرادفا لها . وأوضح الأستاذ دادلى ستامب *D. Stamp* فى عام ١٩٦١ ، أن كلمة جيومورفولوجيا هى تعبير مركب مشتق من عدة مقاطع من كلمات يونانية قديمة وهى *"Ge"* ومعناها الأرض *"Morphe"* ومعناها الشكل *"Logos"* ، ومعناها «علم أو دراسة وعلى ذلك فإن المعنى الحرفى لكلمة جيومورفولوجيا هو «علم أو دراسة الأشكال التضاريسية لسطح الأرض» وقد اتسع مجال هذا العلم فى الآونة الأخيرة حيث شملت موضوعاته التوزيع الجغرافى لظاهرات سطح الأرض ودراسة نشأتها ومراحل تطورها والزمن أو الأزمنة التى تكونت فيها ، كما اهتمت كذلك بدراسة توزيع المسطحات المائية والعلاقة بين مناسيب اليابس وأشكال قاع المحيط . وتختلف دراسات الجيولوجيا الطبيعية (الفيزيائية) *Physical Geology* عن دراسات الجيومورفولوجيا ، ذلك لأن الأولى تولى عنايتها لدراسة صخور قشرة الأرض ، فى حين أن الأخرى تختص بدراسة الأشكال التضاريسية لسطح الأرض والعوامل الطبيعية التى أثرت فيها ، وإذا كانت صخور قشرة الأرض هى أحد العوامل التى تؤثر فى تشكيل بعض ظواهرها التضاريسية ، فإن فعل التجوية *Weathering* وعوامل التعرية *Erosional processes* هى من بين العوامل الطبيعية الجغرافية التى لها دورها الفاعل فى تشكيل سطح الأرض . وتنبغى الاشارة إلى أن الجيومورفولوجى ـ بحسه الجغرافى ـ يسعى فى دراسته الجيومورفولوجية

إظهار العلاقة المترابطة بين مدى تباين أشكال سطح الأرض ، والنشاط البشرى ، وهذا هو ما يمثل محور الدراسات الجغرافية وهدفها . ويمكن تقسيم موضوعات الدراسة الجيومورفولوجية إلى ثلاثة أقسام رئيسة هى :

١ - دراسة شكل سطح الأرض ومظهره العام :

Morphographic Analysis :

ومحور هذه الدراسة هو الالمام بأشكال انحدارات سطح الأرض المختلفة ، وتقسيم هذه الانحدارات من حيث تنوع أنماطها واختلاف درجاتها إلى مجموعات متباينة ثم محاولة ايجاد العلاقة المتبادلة بين هذه الأنماط المختلفة لانحدارات سطح الأرض وخصائص كل من التكوين الصخرى ونظام طبقاته من ناحية وأثر عوامل التعرية المختلفة من ناحية أخرى . وبخلاف الجيومورفولوجيا الدافيزية التى اعتمدت على المنهج الكيفى تسعى الجيومورفولوجيا المعاصرة إلى دراسة المظهر العام لسطح الأرض وانحداراته دراسة كمية . ومن ثم يقوم الباحث فى هذا الصدد بقياس درجات الانحدار فى مناطق محددة وقياس أبعاد أشكال سطح الأرض وتحديد مساحاتها حتى يحدد مدى فعل عوامل التعرية والتجوية التى أثرت فيها .

٢ - تمييز الظاهرات الجيومورفولوجية لسطح الأرض :

Morphogenetic-Analysis :

ويختص هذا النوع من الدراسة بتحليل السمات الجيومورفولوجية لظاهرات الأرض ، وتوزيعها الجغرافى ، ومراحل تكوينها وتطورها والظروف المناخية التى شكلتها والدورة أو الدورات التحاتية التى مرت بها والحركات التكتونية التى أثرت فى نظام بنية طبقات صخورها . ولا تهتم الجيومورفولوجيا المعاصرة بدراسة الدورة التحاتية للظاهرات بقدر اهتمامها بدراسة العوامل المختلفة التى أثرت فى تشكيلها .

٣ دراسة العمر النسبي للظاهرات الجيومورفولوجية لسطح الأرض : *Morphochronological Analysis*

ويهتم هذا القسم من الدراسة بتحديد الزمن أو الأزمنة التى تتكون فيها الظاهرات الجيومورفولوجية المختلفة لسطح الأرض ، وتتبع المراحل التى أدت إلى اظهار سطح الأرض وابرازه بشكله واطاره الحالى فى ضوء منهج الجيومورفولوجيا الدافيزية . ورجح الباحث الأمريكى ثورنبرى *Thornbury, W. D.* فى كتابه المعروف «مبادئ الجيومورفولوجيا» عام ١٩٥٨ بأن معظم ظواهر سطح الأرض تكونت خلال الزمن الرابع . أما أجزاء سطح الأرض الأخرى التى رجح الباحثون بأن نشأتها تعود إلى ما قبل هذا الزمن فهى محدودة الانتشار والتوزيع فى قارات العالم المختلفة ، وهى تشغل عادة السهول التحاتية القديمة المستوية السطح والتى تقع على سفوح الجبال العالية ، وهذه المناطق بدورها قلما ترجع نشأتها إلى ما قبل الزمن الثالث *"Tertiary Era"* . ومن ثم يتبين مدى اختلاف المجال الزمنى بين كل من علمى الجيولوجيا الطبيعية والجيومورفولوجيا . فمجال العلم الأول دراسة طبقات صخرية قد يرجع عمرها إلى ما يزيد عن ٥٠٠ مليون عام ، بينما ينحصر مجال الثانى فى تشكيل مظهر سطح الأرض خاصة خلال المليون سنة الأخيرة . وكثيرا ما يصادف الجيومورفولوجى فى الحقل طبقات صخرية ترجع نشأتها إلى العصر الكمبرى ، ولكن يرجع ظهورها غالبا فوق سطح الأرض وتشكيلها بظواهر تضاريسية مختلفة إلى فعل عوامل التعرية خلال أى من الزمنين الثالث أو الرابع أو خلالهما معا .

وحيث إن الظاهرات الجيومورفولوجية لسطح الأرض تتنوع من إقليم إلى آخر ، كما أن الظاهرة الواحدة قد تتميز بصفات متعددة فى الإقليم الواحد ، استنتج الباحثون فى الجيومورفولوجيا الدافيزية بأن المظهر العام لسطح الأرض لم يتكون خلال مرحلة زمنية واحدة ، بل هو فى الواقع نتيجة لعدة مراحل متعاقبة تكونت فى أزمنة مختلفة وتحت ظروف مناخية وجيولوجية متباينة ،

ومن هنا تبلورت فى الأذهان نظرية الدورة التحاتية التى كان لها أكبر الأثر فى تطور الفكر الجيومورفولوجى منذ أواخر القرن التاسع عشر .

وتعد الدراسة الجيومورفولوجية حلقة الربط بين كل من علمى الجيولوجيا الطبيعية *Physical Geology* والجغرافيا الطبيعية *Physical Geography* ذلك لأن الظاهرات الجيومورفولوجية لسطح الأرض تتغير بمرور الزمن وتتشكل تحت ظروف مناخية جديدة لم تكن موجودة من قبل أو إعادة تشكيل ظاهرات قديمة وتعديل مظهرها العام . ويتوقف مدى قدرة كل من هذه العوامل على أداء عملها تبعا للتكوين الصخرى ونظام بناء الطبقات من جهة والظروف التكتونية (الباطنية) التى تعرضت لها منطقة الدراسة من جهة أخرى .

وقد تجرى بعض الأبحاث الجيومورفولوجية بواسطة كل من الجيولوجيين والجيومورفولوجيين على السواء ، إلا أن الباحث الجيولوجى عند دراسته للظاهرات الجيومورفولوجية لسطح الأرض يهتم حسب تخصصه بالنقاط التالية :

١ - التطور الجيولوجى للمنطقة ومدى أثر الحركات التكتونية الكبرى فى تشكيل بنية صخور المنطقة والظاهرات الجيومورفولوجية التركيبية النشأة الناتجة فوق سطح الأرض .

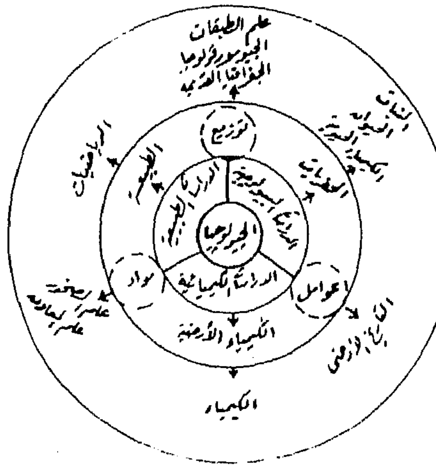
٢ - أثر اختلاف التكوين الصخرى ونظام بنية الطبقات فى تكوين ظاهرات جيومورفولوجية تركيبية أخرى .

٣ - اختلاف ميل الطبقات الصخرية ، ومدى تأثر تلك الطبقات بفعل الصدوع وفتحات الشقوق والفوالق وأثر ذلك فى تشكيل سطح الأرض .

أما الباحث الجيومورفولوجى فيضع هذه النقاط جميعها فى الاعتبار ولكن بالاضافة إلى ذلك فإنه يهتم بالدور الذى تقوم به عوامل التعرية المختلفة (الهوائية والبحرية والجليدية ..) ومدى أثر كل منها فى تشكيل سطح الأرض بصور معينة . كما يدرس الجيومورفولوجى الرواسب التى تنتج عن فعل كل

من هذه العوامل ومـــدى الاســتفادة منهـــا فى معرفة المراحــل والأزمنــة المختلفـــــة التى نشـــأت فيها ظـــاهرات ســطح الأرض . أو بمعنى آخر على الجيومورفولوجى فى ضوء المفاهيم الدافيزية أن يهتم بدراسة مراحل نمو كل ظاهرات سطح الأرض وتطور أشكالها منذ بداية نشأتها الأولى *"Initial Stage"* إلى ظهورها بصورتها الراهنة على سطح الأرض ثم عليه كذلك أن يستنبط الاطار النهائى للشكل العام لهذه الظاهرات فى المستقبل ومن ثم فإن الجيومورفورلوجيا تختص بدراسة بعض جوانب المسرح الطبيعى لنشاط الإنسان على سطح الأرض .

ويقف علم الجيومورفولوجيا بدوره فى مركز يتوسط كل من دراستى الجغرافيا الطبيعية *Physical Geography* والجيولوجيا الطبيعية *Physical Geology* . وقد لا يشعر بعض الجيولوجيين بإنفصال علم الجيومورفولوجيا المعاصر عن علم الجيولوجيا الأم ، وارتباطه الجديد بمجال الجغرافيا الطبيعية وكثيراً ما يشيرون إليه على أنه هو علم الجيولوجيا الفيزيائية . ويتضح ذلك من دراسة شكل (١) . ويقسم الجيولوجيون مجال علم الجيولوجيا إلى ثلاثة



شكل (١) صلة علم الجيومورفولوجيا بأفرع علوم الجيولوجيا
حسب رأي بعض الجيولوجيين

أقسام رئيسة هى :

(١) الدراسات الطبيعية : *Physical Studies* ويخصها بالدراسة كل من علم الطبيعة الأرضية *Geophysics* وعلم الطبيعة وعلم الرياضيات .

(٢) الدراسات الكميائية : *Chemical Studies* ويخصها بالدراسة كل من علم الكيمياء الأرضية *Geochemistry* وعلم الكيمياء *Chemistry*

(٣) الدراسات البيولوجية : *Biological Studies* ويخصها بالدراسة كل من علم الحفريات *Palaeontology* وعلم الحيوان وعلم النبات.

وتختص الدراسات الجيولوجية حسب رأى معظم الجيولوجيين بتناول ثلاثة موضوعات رئيسة بالدراسة هى :

(١) دراسة المواد التى تتألف منها القشرة الأرضية ، ويختص بها كل من علم الصخور *Petrology* وعلم المعادن *Mineralogy*.

(٢) دراسة العوامل *Processes* التى تشكل هذه المواد .

(٣) دراسة التوزيع الجغرافى القديم والحديث للظواهر المختلفة وللطبقات الصخرية وهذه يختص بدراستها كل من علم الجغرافيا القديمة *Palaeogeography* والجيومورفولوجيا *Geomorphology* وعلم الطبقات *Stratigraphy* فى حين يرى الجغرافيون بأن دراسة الأشكال التضاريسية لسطح الأرض وتوزيعها الجغرافى (الجيومورفولوجيا) والعوامل التى أدت إليها هى من المحاور الرئيسة لمجال الجغرافيا الطبيعية لسطح الأرض .

وعلى الرغم من حداثة علم الجيومورفولوجيا إلا أنه انقسم فى الوقت الحاضر إلى عدة أفرع ثانوية ، يختص كل منها بدراسة ظواهر جيومورفولوجية معينة . ومن بين هذه الأفرع العلمية الحديثة :

- علم جيومورفولوجية المناطق القطبية والجليدية

Glacial Geomorphology

- علم جيومورفولوجية المناطق شبه الجليدية

Periglacial Geomorphology

- علم جيومورفولوجية المناطق الحارة الجافة (الصحاري)

Arid Geomorphology

- علم جيومورفولوجية السواحل

Coastal Geomorphology

وقد اهتمت المدارس الجيومورفولوجية الفرنسية الحديثة بدراسة العلاقة المتبادلة بين المناخ السائد فى منطقة ما وما ينتج عنه من عوامل تعرية وأثرها فى تشكيل سطح الأرض ، وعلى ذلك استنتج العلماء بأنه يمكن مشاهدة ظواهر جيومورفولوجية مميزة فى كل إقليم مناخى معين ، وأصبحت هذه الدراسات أساس ظهور فرع جديد فى الجيومورفولوجيا هو علم «الجيومورفولوجيا المناخية» *Climatic Geomorphology* . واهتم الباحثون فى هذا الفرع من العلم بتقسيم أراضى العالم إلى أقاليم «مناخية جيومورفولوجية أو مورفومناخية» *Morpho-Climatic Regions* .

وحيث إن علم الجيومورفولوجيا يخدم الكثير من العلوم الأخرى الحديثة وخاصة علوم الأراضى ، وعلم التربة *Pedology* والهيدرولوجيا *Hydrology* ، وعلوم التعدين *Mining studies* ودراسة الصور الجوية وتفسيرها *Air photograph interpretation* ودراسات الهندسة المدنية *Civil Engineering studies* والعلوم العسكرية *Military studies* والتخطيط الإقليمى *Regional planning* فقد استحدث العلماء فرعا جديدا فى الدراسة الجيومورفولوجية يختص بالاستفادة من المعلومات الجيومورفولوجية عند إقامة المشروعات المختلفة ، ويعرف هذا الفرع من العلم باسم «الجيومورفولوجيا التطبيقية» *Applied geomorphology* .

ولكى تتمشى الدراسات الجيومورفولوجية جنبا إلى جنب مع الدراسات العلمية الحديثة والتى تستفيد منها الجيومورفولوجيا وتفيدها ، فقد ابتعدت

الدراسة الجيومورفولوجية الحديثة عن المنهج التقليدى الوصفى القديم *Descriptive or Qualitative Approach* واعتمدت فى نفس الوقت على استخدام أسس الرياضيات فى الدراسات الجيومورفولوجية والتقنيات الحديثة وأصبح منهجها كمياً *Quantitative Approach* . وعلى ذلك ظهر أيضاً فى الآونة الأخيرة فرع جديد من الدراسة الجيومورفولوجية هو علم «الجيومورفولوجيا الكمية» *Statistical Geomorphology* الذى يكاد يحتل اليوم مكانة الجيومورفولوجيا «الدافيزية» (١) التقليدية *Davision Geomorphology* .

---

(١) أخذت هذه التسمية من اسم العالم الأمريكي وليم موريس دافيز W. M. Davis مؤسس علم الجيومورفولوجيا .

الفصل الثانى

تطور الفكر الجيومورفولوجى

علم الجيومورفولوجيا من العلوم الحديثة التى وضع الباحثون قواعده وأصوله عند بداية هذا القرن فقط ، ومع ذلك كان الانسان القديم منذ ظهوره على سطح الأرض يفكر فى أسباب تنوع أشكال البيئة الطبيعية التى يعيش فيها ، وحاول رسم ما يشاهده فى البيئة من أنهار وجبال وهضاب وتوقيع كل ذلك على خرائط تصويرية يرجع أقدمها إلى أكثر من ٤٥٠٠ سنة ق.م .

بداية ميلاد الفكر الجيومورفولوجي :

بعد معرفة الانسان بالكتابة وبداية العصر التاريخى أخذ الانسان يسجل خواطره ومشاهداته عن الظواهر «التضاريسية» الكبرى التى يشاهدها فى البيئة ويدفعه اعجابه بها إلى الحديث عنها ووصفها . ومن بين أقدم الدراسات التى تختص بدراسة أشكال سطح الأرض وتكوين الكرة الأرضية تلك التى ظهرت فى عهد الأغريق خاصة فى كتابات هيرودوت *Herodotus* وأرسطو ، واسترابو ، ثم الدراسات العربية القديمة خلال مرحلة العصور الوسطى .

وعلى الرغم من أن هيرودوت (٤٨٥ - ٤٢٥ ق.م.) عُرف عنه بأنه أبو التاريخ *The father of history* إلا أنه أشار إلى بعض الملاحظات الجغرافية الطبيعية المهمة ومن بينها :

أ - أكد هيرودوت بأن دلتا نهر النيل تتألف تكويناتها الإرسابية من «طبقات» رقيقة السمك جداً من الصلصال الصفائحى الذى تترسب كل ورقة من وريقاته الدقيقة السمك مع حدوث كل فيضان سنوى لنهر النيل . ومن ثم إستنتج هيرودوت أن دلتا نهر النيل ، هي المنطقة الإرسابية الهائلة التي بناها هذا النهر بفضل ما يحمله من رواسب منقولة من منطقة منابعه العليا وارسابها فى البحر الضحل . وأن سكان مصر يعيشون على

زراعة هذه التربة الفيضية التى بناها النهر ، ومن ثم أطلق مقولته التاريخية المشهورة وهى أن «مصر هبة النيل» *Egypt is the gift of the Nile* .

ب - وفى ضوء مشاهدات هيرودوت الحقلية فى منطقة الساحل الشمالى لمصر القديمة أكد بأن بعض القمم التلالية وجوانب الحواجز الساحلية تنتشر فوقها مجموعات من الأصداف والرواسب وهياكل الكائنات البحرية ، وعلى ذلك رجح هيرودوت بأن مستوى سطح البحر لم يكن ثابتا خلال الفترات الزمنية المختلفة بل أنه كان أعلى منسوبا فى بعض الفترات القديمة عن مستواه الحالى (وقت مشاهدات هيرودوت) وأن البحر كان يغطى الأراضى المجاورة له ثم تراجع عنها تبعا لانخفاض منسوبه .

جـ - أما فى بلاد الاغريق فقد تأثر هيرودوت بحدوث الزلازل فى المناطق الجبلية من البلاد ، ورجح بأنها تعزى إلى عمليات «تكسر الجبال» أى نتيجة للعمليات الانكسارية الكبرى التى تؤثر فى «تكسير» الجبال وتقسيمها فينتج عن ذلك حدوث الزلازل على سطح الأرض . وأن هذه الزلازل ليس لها علاقة بغضب الالهة كما كان يظن الناس من قبل .

أما الفيلسوف الأغريقى أرسطو (٣٨٤ - ٣٢٢ ق.م.) فقد شاهد الكثير من الظواهر التضاريسية وكتب عن نشأتها ، ويمكن أن نلخص كتاباته فى الآتى :

أ - تأثر أرسطو بشيوع انتشار الينابيع فى بلاد الاغريق وأكد بأن نشأة مياه الينابيع الآتية من باطن الأرض وخروجها على السطح إنما ترجع إلى ثلاثة أسباب هى :

١ - مياه الأمطار ومياه الأنهار التى قد يتسرب بعضها داخل الصخور المسامية ، ثم تتجمع المياه الجوفية فوق طبقات غير مسامية فى

باطن الأرض . وعند اندفاعها من أسفل إلى أعلى قد تظهر على السطح وتكون الينابيع .

٢ - المياه الجوفية التى تتكون فى باطن الأرض نتيجة لتسرب بعض المواد والغازات وتجمعها على شكل مياه تحت سطح الأرض .

٣ - المياه الجوفية التى تتكون بفعل الأبخرة والغازات الناتجة عن الصخور الجوفية النارية .

وقد اعتقد أرسطو بأن السلاسل الجبلية فى المناطق الغزيرة الأمطار تشبه «كتلة الأسفنج» بحيث يمكن أن تتسرب فيها المياه وتتجمع داخل خزانات مائية جوفية ، ثم قد تظهر هذه المياه الجوفية مرة ثانية على شكل ينابيع قوية كما هو الحال فى بلاد الإغريق . وتتكون الأنهار السطحية بفعل الينابيع ، أما مياه الأمطار فهذه فى رأى أرسطو لا تكون سوى سيول مؤقتة *Temporary torrents* .

ب - شاهد أرسطو عملية نقل الأنهار للمفتتات الإرسابية المختلفة وأوضح بأن هذه المفتتات تصغر فى الحجم كلما نقلت لمسافات طويلة على طول المجرى النهرى ، وعند مصبات الأنهار تكثر الرواسب الطينية التى قد تسهم فى بناء الدلتاوات أو قد يصب النهر هذه المفتتات فى البحر ، وذكر أرسطو أمثلة لذلك بالنسبة للأنهار التى تصب فى البحر الأسود .

جـ - أوضح أرسطو بأن الزلازل والبراكين قد يرجعان إلى نشأة واحدة وهى فى رأيه «الغازات الساخنة» التى توجد فى باطن الأرض. وينتج عن تحرك هذه الغازات فى باطن الأرض اندفاع المصهورات من باطن الأرض إلى أعلى مكونة البراكين أو تكسر قشرة الأرض التى تهتز بشدة وتكون الزلازل . وعلى ذلك كثيرا ما تصاحب الغازات الساخنة حدوث البراكين وتجعل «الجو» المحيط بالبركان جوا ساخنا رطبا .

أما استرابوا (٥٤ ق.م. - ٢٥ ميلاديا) فقد قام بدراسة أسباب ارتفاع أجزاء

من الأرض فى بعض المناطق ، وتعرض أجزاء أخرى لعمليات الهبوط ، ورجح بأن كل هذه العمليات التى تؤثر فى تشكيل سطح الأرض إنما ترجع إلى أثر الزلازل والبراكين . وأكد سترابو بأن الزلازل والبراكين التى تحدث فى بلاد الاغريق إنما تتكون بفعل تحرك الغازات الساخنة فى باطن الأرض كما سبق أن رجح أرسطو ذلك من قبل .

وعلى الرغم من أن بركان فيزوف كان بركانا خامدا أيام حياة استرابو إلا أنه أكد بأن هذا الجبل المرتفع إنما هو جبل بركانى النشأة اندفعت مصهوراته من باطن الأرض .

ودرس استرابو كذلك أشكال الدلتاوات النهرية وأسباب اختلاف أحجامها بمقارنة بعض الدلتاوات النهرية الصغيرة الحجم فى بلاد الاغريق والرومان بدلتا نهر النيل الكبيرة الحجم ، واستنتج بأن دلتاوات الأنهار تختلف فى الحجم تبعا لاختلاف حجم الرواسب الفيضية ومدى اتساع حوض النهر وطرائق ترسيبها وعمق المسطحات البحرية التى يصب فيها النهر وقد تنمو بعض الدلتاوات ببطء تبعا لاستمرار تآكل رواسبها التى يبنيها النهر فى البحر وذلك بفعل عمليات المد والجزر وتلاطم الأمواج على طول خط الساحل .

وقد اضمحل الفكر الجيومورفولوجى خلال الفترة الزمنية الممتدة من نهاية العصر الأغريقى حتى العصور الوسطى ، ويرجع الفضل إلى بعض الكتاب والرحالة العرب الذين حافظوا على نتائج الدراسات الأغريقية القديمة وأضافوا إليها بعد أن ترجمت الكثير من أعمال الاغريق إلى اللغة العربية . ويجد الباحث فى مخطوطات وكتب الرحالة العرب القديمة وصفا تفصيليا لأشكال سطح الأرض فى البلدان المختلفة خاصة تلك التى تقع فى حوض البحر المتوسط والجزيرة العربية ، بل وفى بلاد الهند والصين ، كما برع الكتاب العرب فى وصف الصحراء وأشكال التلال والكثبان الرملية فيها .

ونذكر على سبيل المثال أن العالم العربى ابن سينا (٩٨٠ - ١٠٣٧ م) قسم السلاسل الجبلية إلى مجموعتين رئيسيتين هما :

أ - جبال تتكون بفعل حركات باطنية ينتج عنها رفع الأرض من أسفل إلى أعلى وانبعاجها على شكل جبال عالية وقد تصاحب الزلازل هذه الحركات .

ب - جبال انفرادية منعزلة مكونة من صخور صلبة قاومت فعل عوامل التعرية النهرية وفعل الرياح المحملة بالرمال وبريها للصخور .

وعلى ذلك يعد ابن سينا هو أول من أشار إلى أثر العلاقة بين التكوينات الصخرية (الصلبة واللينة) وعوامل نحت الصخور فى تشكيل فعل التجوية المتباين *Differential Weathering* .

وقد ذكر ابن سينا بأن فعل عوامل التعرية يحدث ببطء شديد فى التكوينات الصخرية المختلفة ، وأن الكثير من الظاهرات التضاريسية على سطح الأرض إنما تكونت خلال عشرات الآلاف من السنين (١) .

وفى مقدمة ابن خلدون (٢) يتبين أن العرب اهتموا كذلك بدراسة الشكل العام للأرض وكيفية تكوينها والعلاقة بين الأغلفة الكبرى (المائية والصخرية والغازية) التى تشكل قشرة الأرض . كما أوضح ابن خلدون بأن كثافة مواد باطن الأرض أعلى بكثير من كثافة قشرة الأرض ، ومن ثم تعمل قوة جاذبية الأرض على ثبات كل الظاهرات على سطح الأرض ، ويتضح ذلك فى قوله :

«اعلم أنه قد تبين فى كتب الحكماء الناظرين فى أحوال العالم ، أن شكل الأرض كروى ، وأنها محفوفة بعنصر الماء كأنها عنبة طافية عليه ، فانحسر الماء عن بعض جوانبها لما أراد الله من تكوين الحيوانات فيها وعمرانها بالنوع البشرى الذى له الخلافة على سائرها، وقد يتوهم من ذلك أن الماء تحت الأرض وليس بصحيح ، وانما التحت الطبيعى قلب الأرض ووسط كرتها

---

(١) ابن سينا ، أبو الحسن «كتاب الشفاء» ، القاهرة ١٩٦٥ .

(٢) ابن خلدون ، عبد الرحمن بن محمد «مقدمة ابن خلدون» .
تحقيق د. على وافى - ٤ أجزاء (القاهرة) ١٩٥٧ .

الذى هو مركزها ، والكل يطلبه بما فيه من الثقل وما عدا ذلك من جوانبها وأما الماء المحيط بها فهو فوق الأرض ..» .

بالإضافة إلى ما سبق تضمنت كتب التراث الجغرافى الاسلامى كثيراً من المعلومات المهمة التى تناولت سطح الأرض بالدراسة . ويلاحظ ذلك فى كتابات الخوارزمى وسهراب وابن حوقل والمقدسي والبيرونى والمسعودى والقزوينى وإخوان الصفا (١) .

فتناول الخوارزمى (٢) وسهراب (٣) دراسة صورة الأرض ، وعجائب أقاليمها السبعة واهتما بدراسة الجبال والهضاب والسهول والكثبان الرملية وذكرا أسماء هذه الظاهرات التضاريسية المختلفة وحددا أبعادها ومواقعها وترتيبها فى جداول لمعرفة توزيعها الجغرافى . وعرض ابن حوقل (٤) فى كتابه صورة الأرض لأشكال الظاهرات التضاريسية المختلفة بوجه عام وفى البلدان الإسلامية بوجه خاص . فى حين حاول المقدسى (٥) تصنيف أرض الشام إلى أقاليم تضاريسية .

واهتم البيرونى (٦) كما فعل هيرودوت الأغريقى من قبل بالدراسة الباليوجرافية وأشار إلى العلاقة بين تغير مستوى سطح البحر خلال الأزمنة

---

(١) كراتشكوفسكى م.ث «الجغرافيون والرحالة المسلمون» ترجمة د. عبد الرحمن حميدة ـ الجمعية الجغرافية الكويتية (١٩٨٥) نشرة (٧٣) ١ - ٣٧ .

(٢) الخوارزمى ، أبو عبد الله محمد بن موسى «كتاب صورة الأرض» ـ الناشر فان مجيك ـ ليبزج (١٩٢٦) .

(٣) سهراب «كتاب عجائب الأقاليم السبعة» تحقيق هانز فون مزيك ، سنة ١٣٤٧ هـ .

(٤) ابن حوقل ، أبو القاسم ابن حوقل النصيبى «صورة الأرض» ليدن ١٩٣٨ م طبعة بيروت ١٩٦٢ .

(٥) المقدسى ، شمس الدين أبو عبد الله بن محمد «أحسن التقاسيم فى معرفة الأقاليم» طبعة دى خويه ـ ليدن ١٩٠٦ م .

(٦) البيرونى ، أبو الريحان محمد بن أحمد «الآثار الباقية عن القرون الخالية» طبعة ليبزج ١٩٢٣ م وراجع د. محمد محمود محمدين «التراث الجغرافى الإسلامي» دار العلوم ١٩٨٤ (الرياض) ص ٢٤٧ .

المختلفة وأثر ذلك فى تغير أبعاد اليابس والماء وشكل سواحل البلدان والقارات وذلك فى قوله «ينتقل البحر إلى البر ، والبر إلى البحر فى أزمنة إن كانت قبل كون الناس فى العالم فغير معلومة وإن كانت بعده فغير محفوظة .. فهذه بادية العرب وقد كانت بحراً ، فانحبس حتى إن آثار ذلك ظاهرة عند حفر الآبار والحياض بها فإنها تبدى أطباقاً من تراب ورمال ورضراض ، ثم فيها من الخزف والزجاج والعظام ما يمتنع أن يحمل على دفن قاصد إياها هناك ، بل تخرج أحجاراً إذا كسرت مشتملة على أصداف وودع وما يسمى «آذن السمك» ويلاحظ أن البيرونى عنى بدراسة التركيب الصخرى وفحص التكوين الليثولوجى للصخور ومشاهدة الحفريات الممثلة فيها .

ولم تقتصر دراسات البيرونى الباليوجرافية على أرض العرب بل أشار إلى التطور الجيومورفولوجى لمناطق مختلفة من العالم ومن بينها سهول هندوستان (سهل الكانج وسهل السند) والتى اعتبرها البيرونى بحراً قديماً حيث كان البحر العربى والمحيط الهندى يمتدان قديماً فى هذه السهول ونتيجة لتجمع الرواسب والطمى فى هذه المياه البحرية الخليجية الضحلة تكونت السهول الواسعة لأرض هندوستان. وأكد المسعودى (١) نفس هذا الرأى فى كتابه مروج الذهب وأشار إلى تغير أبعاد اليابس والماء خلال الفترات الزمنية وذلك فى قوله «... فليس موضع البر أبداً براً ، ولا موضع البحر أبداً بحراً ، بل قد يكون براً حيث كان مرة بحراً ويكون بحراً حيث كان مرة براً ...».

ومن الأمور المهمة كذلك أن المسعودى قد أشار إلى الدورة التحاتية النهرية واكتشف بأن المجارى النهرية تمر بدورة حيوية تتدرج من مراحل الطفولة إلى الشباب ثم الشيخوخة أو النضج ومعنى ذلك أن أفكار المسعودى عن الدورة التحاتية تسبق الأفكار الأوربية لجيمس هاطون والأمريكية لوليم موريس دافيز

(١) المسعودى ، أبو الحسن على بن الحسين «مروج الذهب ومعادن الجوهر» بيروت ١٩٦٥ ص ١١٢ ، وراجع د. محمد محمود محمدين «التراث الجغرافى الاسلامي» ، دار العلوم ، الرياض ، ١٩٨٤ ، ص ٢٤٨

بنحو تسعة قرون على الأقل . ويذكر المسعودى «... فإن لمواضع الأنهار شباباً وهرماً وحياة وموتاً ، ونشئاً ونشوءاً كما يكون ذلك فى الحيوان والنبات ...» .

كما أشار المسعودى كذلك إلى ما يعرف اليوم فى علومنا التجريبية المعاصرة بنظرية الأوانى المستطرقة واستفاد منها فى تفسير أسباب انبثاق مياه العيون والينابيع على سطح الأرض على الرغم من أنها مياه جوفية آتية من جوف الأرض فيرى المسعودى أن المياه المختزنة فى باطن الأرض تميل للخروج إلى السطح لأن المياه تتجه دائماً إلى الحفاظ على مستواها ، فتنبثق من ذلك العيون والأنهار (١) وخاصة عند تقطع سطح الأرض .

وقد أشار الكرخى إلى أن الغازات الساخنة فى باطن الأرض قد تتحول عند برودتها وتكاثفها إلى مياه جوفية وقد تخرج عند سطح الأرض على شكل عيون مائية ومن ثم لا تتأثر هذه المياه الجوفية حجماً أو منسوباً بمياه الأمطار ، وهكذا قد تنبثق مياه العيون والينابيع حتى فى المناطق الصحراوية التى نادراً ما يسقط فوقها أمطار (٢) ، ويقول الكرخى «إن الله تعالى خلق فى جوف الأرض ماء ساكناً يجرى فيها مجرى الدم من بدن الحيوان ، لا يزيد بزيادة الأمطار ، ولا ينقص بنقصانها على ما قاله الأولون ، لأن مادته من استحالة الهواء إلى الماء فى بطون الأرض» (٣) .

وفى كتاب عجائب المخلوقات عرض القزوينى (٤) لدراسة أثر فعل عوامل التعرية والتجوية الطبيعية (شدة الحرارة) فى تفتيت صخور الجبال وتحويلها

---

(١) المرجع السابق جـ ١ ص ٩٨ .

وراجع «الجغرافيا العربية» تأليف ضياء الدين علوى ، تعريب وتحقيق دكتور عبد الله يوسف الغنيم والدكتور طه محمد جاد ـ الكويت ١٩٨٠ ص ١١٨ .

(٢) المرجع السابق (الكويت) عام ١٩٨٠ ص ١١٨ .

(٣) الكرخى ، محمد بن الحاسب «أنباط المياه الخفية» حيدر أباد ١٣٥٩ هـ . ص ١٠ .

(٤) القزوينى ، محمد محمود «عجائب المخلوقات وغرائب الموجودات» طبعة القاهرة ١٩٦٦ ص ٩٦ .

إلى مفتتات ورواسب قد تنقلها السيول والأنهار إلى بطون الأودية والسهول أو إلى البحار ، وذلك فى قوله «.. إن الجبال من شدة إشراق الشمس والقمر وسائر الكواكب عليها بطول الزمان تنشف رطوبتها وتزداد يبسا وجفافاً ، وتكسر فتصير أحجاراً وصخوراً ورمالاً ، ثم إن السيول تحملها إلى بطون الأنهار والأودية ثم تحملها بشدة جريانها إلى البحار ...» ومثل هذه الاراء عرض لها إخوان الصفا من قبل .

وقد تضمنت دراسات أخوان الصفاء [1] بعض الآراء المهمةالتى تتعلق بتفسير بعض الظاهرات التضاريسية على سطح الأرض . فقد ميز اخوان الصفاء بين الصخور النارية الصلدة إلتى لا ينتج عنها تربة ولا يتكون فيها نبات ، والصخور الرسوبية اللينة مثل الصخور الرملية والجيرية والطينية والتى ينتج عنها التربة ويتكون فيها النبات وتخرج منها الأنهار والعيون المائية .

وقد أكد أخوان الصفاء الملاحظات التى أشار إليها علماء الاغريق من قبل ولخصها أرسطو (٣٨٤ - ٣٢٢ ق.م) والتى تتعلق بأثر الغازات الساخنة الجوفية فى نشوء الزلازل والبراكين ويقول إخوان الصفا فى ذلك [2] «وأما الكهوف والمغارات والأهوية التى فى جوف الأرض والجبال ، إذا لم يكن لها منافذ تخرج منها المياه ، بقيت تلك المياه هناك محبوسة زماناً ، وإذا حمى باطن الأرض وجوف تلك الجبال ، سخنت تلك المياه ولطفت وتحللت وصارت بخاراً ، وارتفعت وطلبت مكاناً أوسع ، فإن كانت الأرض كثيرة التخلخل ، تحللت وخرجت تلك البخارات من تلك المنافذ ، وإن كان ظاهر الأرض شديد التكاثف حصيفا منعها من الخروج ، وربما انشقت الأرض فى موضع منها

---

(١) رسائل اخوان الصفاء وخلان الوفاء ــ المجلد الثانى ــ الرسالة الخامسة من الجسمانيات الطبيعيات ، طبعة دار بيروت عام ١٩٥٧ ص ٩٣ - ٩٤ .

(٢) الجغرافيا العربية فى القرنين التاسع والعاشر الميلاديين ، تأليف ضياء الدين علوى وتعريب وتحقيق الدكتور عبد الله يوسف الغنيم والدكتور طه محمد جاد ــ الكويت ١٩٨٠ ص ١١٧ .

وخرجت تلك الرياح مفاجأة ، وانخسف مكانها ويسمع لها دوى وهدة ورلزلة، ويتضح كذلك أن أخوان الصفاء أشاروا إلى ظاهرة انبثاق الغازات الساخنة أو المداخن الحارة من باطن الأرض كما هو الحال فى بعض مناطق الكارست الجيرية فى العالم وهو ما أشار إليه بعض الكتاب الأغريق من قبل عند دراستهم لمثل هذه الظاهرات فى الأراضى الأغريقية وبلاد الرومان .

تطور الفكر الجيومورفولوجي من القرن الخامس عشر الميلادى حتي ظهور كتابات هاطون فى القرن الثامن عشر الميلادى

اعتمدت الدراسات الجيومورفولوجية قبل انتشار أفكار العالم الاسكتلندى جميس هاطون على الآراء النظرية والافتراضية . ويؤخذ على هذه الدراسات أن الكثير منها كان يعتمد على ما قد يتخيله الباحث ، ومع ذلك فقد كان لبعض هذه الآراء القديمة أثرا فى تطور الفكر الجيومورفولوجى بل واعتمدت أصول الدراسات الحديثة على هذه الآراء عند التحقق من بعض الافتراضات الجيومورفولوجية . ومن بين أهم هذه الآراء تلك التى قدمها ليوناردو دافينشى (١٤٥٢ - ١٥١٩) *Leonardo Davinci* والتى شرح فيها كيفية تكوين المجارى النهرية لأوديتها العميقة ، وإن هذه العملية فى رأيه تتكون بفعل نحت مجرى النهر للأرض التى يجرى فوقها . وأشار ليوناردو بأن رواسب الدلتاوات والمفتتات الإرسابية فى الأجزاء الدنيا من الأودية النهرية إنما نقلتها المجارى النهرية من منابعها العليا وتشكلت تلك المفتتات على طول هذه الرحلة الطويلة من منطقة المنابع إلى منطقة المصب .

وقد أضاف نيكولا ستينو (١٦٣٨ - ١٦٨٧) *Nicolaus Steno* بأن معظم ظواهر سطح الأرض تشكلت بفعل التعرية النهرية وأوضح العالم الفرنسى بيفو (١٧٠٧ - ١٧٨٨) *Buffon* بأن الأنهار النشطة لها القدرة على نحت الصخور مهما كانت درجة صلابتها وأن تجعل سطح الأرض فى النهاية يبدو

منبسطا وقد يقترب مستواه من مستوى سطح البحر المجاور . وقد أكد بيفو المفاهيم التى سبق أن توصل إليها العالم العربى ابن سينا من قبل وذلك فيما يتعلق فى شأن مشكلة العمر النسبى للظواهر التضاريسية لسطح الأرض . وأكد «بيفو» أن ظواهر سطح الأرض تتشكل ببطء ويرجع عمرها إلى مئات الآلاف من السنين .

أما العالم الإيطالى تارجيونى توزتشى (١٧١٢ – ١٧٨٤) *Targioni Tozetti* فقد درس هو الآخر أثر فعل الأنهار فى تشكيل سطح الأرض وأوضح بأن شكل المجارى النهرية يختلف من مجرى نهرى إلى آخر وذلك بحسب اختلاف صلابة الصخور التى يجرى النهر فوقها .

ويعد العالم الفرنسى جيثار (١٧١٥ - ١٧٨٦) *Guetthard* جيولوجيا بمفهوم علم الجيولوجيا المعاصر (حيث لم يكن علم الجيولوجيا معروفا باسمه فى عهد جيثار) . وقد عنى هذا الباحث بدراسة تآكل الحافات الجبلية بفعل الأنهار القصيرة الشديدة النحت والتى لها القدرة على نقل المفتتات . وأوضح جيثار بأن هذه المجارى النهرية لا تصب كل حمولتها من الرواسب فى البحر ولكن تسهم بعض المفتتات الإرسابية فى بناء المدرجات النهرية وأرضية السهل الفيضى .

وفيما يتعلق بأثر فعل التعرية البحرية فى تشكيل السواحل أوضح جيثار بأن فعل البحر يكون واضحا وشديدا إذا ما كانت صخور الجروف البحرية جيرية أو تتكون من صخور لينة كما هو الحال بالنسبة للساحل الشمالى الغربى لفرنسا ، أما إذا كانت الصخور شديدة الصلابة فإنها تقاوم فعل التعرية البحرية .

وتعد دراسات العالم الفرنسى جيثار عن الظواهر التضاريسية البركانية النشأة فى منطقة هضبة أوفرن *Auvergne District* بهضبة فرنسا الوسطى هى أول دراسات علمية جيولوجية فى هذا المجال .

أما العالم الفرنسى دسماريه (١٧٢٥ - ١٨١٥) *Desmarest* فقد أوضح

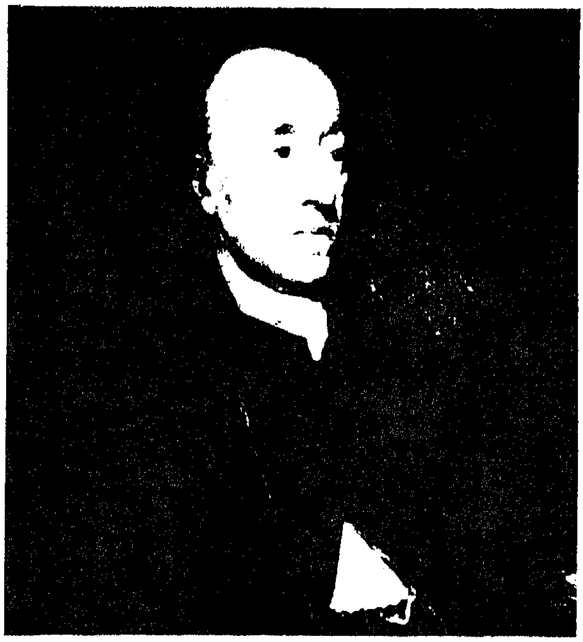
بأن الأودية النهرية فى وسط فرنسا وشمالها لا يمكن أن تكون قد تكونت خلال مرحلة واحدة ، بل من الأرجح أنها تكونت خلال عدة مراحل متعاقبة ومن ثم تعد مقترحاته مقدمات أساسية لظهور نظرية «الدورة التحاتية الدافيزية» فيما بعد .

ويعد العالم السويسرى دى سوسير (١٧٤٠ - ١٧٩٩) *De Saussure* أول من استخدم تعبير (جيولوجيا *Geology*) ليدل على العلم الذى يدرس صخور قشرة الأرض ، أما دارس هذا العلم فأطلق دى سوسير عليه اسم الجيولوجى *Geologist* . وقد عنى هذا الباحث بدراسة التركيب الجيولوجى لجبال الألب وتشكيلها بفعل التعرية النهرية والجليدية .

آراء جيمس هاطون (١٧٢٦ - ١٧٩٦) J. Hutton

ولد جيمس هاطون *Hutton* مؤسس علم الجيولوجيا الحديث بمدينة أدنبرة باسكتلندا فى عام ١٧٢٦ (لوحة ١) وبرع منذ فترة شبابه فى الدراسات الكيميائية والجيولوجية واستطاع هاطون عند بداية حياته العلمية أن يؤلف فريقا من العلماء أجمعوا على أن صخور الجرانيت هى صخور جوفية مصدرها باطن الأرض ومن ثم اطلق الباحثون على هذه الجماعة الجيولوجية (التى كان يرأسها هاطون) اسم «البلوطونيين» *Plutonists* أى أصحاب نظرية الصخور الجوفية . وكانت هذه المدرسة تعارض آراء مدرسة جيولوجية أخرى ، اعتقد أصحابها أن صخور الجرانيت تتكون بفعل الإرساب الكيميائى وكانت تعرف هذه الجماعة الجيولوجية الثانية بالنبتونيين *Wernerian School or the Neptunists* ووضع جيمس هاطون أسس دراسة الصخور المتحولة *Metamorphic rocks* وأنه كان أول من حاول تفسير عملية التحول الصخرى *Metamorphism* .

وقد اهتم هاطون بدراسة تباين الأشكال التضاريسية لسطح الأرض ، ولاحظ أن الظاهرة التضاريسية الواحدة قد تظهر بعدة صور مختلفة ويتنوع شكلها العام من منطقة إلى أخرى . وأشار هاطون إلى دراسة «الأدلة»



لوحة (١) جيمس هاطون مؤسس علم الجيولوجيا الحديث

evidence التي تتركها عوامل التعرية المختلفة فوق أجزاء سطح الأرض ، والتى يستدل الباحث منها تعدد عوامل التعرية التى تشكل سطح الأرض فى الفترات الزمنية المختلفة . وهكذا ساهمت آراء جيمس هاطون فى تطور الدراسة الجيومورفولوجية وكانت من بين الأسس المهمة التى اعتمد عليها وليم موريس دافيز (فيما بعد) عند تأسيسه علم الجيومورفولوجيا وفصله عن الجيولوجيا الفيزيائية . ومن أظهر المفاهيم التى توصل إليها هاطون ما يلى :

(أ) **إن الحاضر مفتاح الماضي** *The present is the Key to the past*

أوضح هاطون أنه عند دراسة الظواهر الحديثة التى تتمثل على سطح الأرض ومعرفة مراحل تطورها يمكن للباحث أن يستدل على ما كانت عليه هذه الظواهر عند بداية نشأتها . وعلى ذلك يستطيع الباحث أن يتعرف على الصورة الأولية التى كانت عليها منطقة الدراسة «ماضى حال المنطقة» وما انتابها من تغيرات وما تكون فيها من ظواهر تضاريسية إلى أن صارت

بالصورة الحالية «حاضر حال المنطقة» التى تبدو بها اليوم .

(ب) «التطور التدريجي البطئ» *Uniformitarianism* :

اعتقد هاطون أن الظواهر التضاريسية الكبرى لسطح الأرض تتشكل بالقوى الخارجية والداخلية ببطء شديد ، خلال مئات الألوف بل أحيانا الملايين من السنين ، إلى أن تتم كل من هذه الظواهر دورة نموها وتطورها . وأن ظاهرة تضاريسية ما مثل ظاهرة التل المنعزل الذى قد يبدو بسيط الإرتفاع بالنسبة للمناطق المجاورة له قد يكون قديم العمر ، وأن هذا التل ربما استطاع أن يقاوم فعل التعرية مئات الآلاف من السنين إلى أن أصبح بالصورة التى يبدو بها اليوم على سطح الأرض .

وتعد نظرية هاطون عن التطور التدريجى البطئ *Uniformitarianism* مضادة لنظرية الانهدام أو التكوين العشوائى أو التدمير الفجائى *Catastrophism* لظواهر سطح الأرض والتى كانت فكرتها سائدة بين العلماء الذين يدرسون قشرة الأرض منذ فترة العصور الوسطى حتى نهاية القرن السابع عشر .

وعرض جيمس هاطون آراءه فى مقال قدمه لجمعية أدنبرة الملكية للعلوم *Royal Society of Edinburgh* عام ١٧٨٥ ، تحت عنوان «نظرية تكوين الأرض» *Theory of the Earth* ، ثم عدل هذه الآراء وأظهرها فى كتاب يتألف من جزئين بنفس عنوان المقال السابق ، وظهر هذا الكتاب فى عام ١٧٩٥ وقد كان عدد طبعات هذا الكتاب محدوداً جداً ، ولم يساعد ذلك على انتشار آراء هاطون وشيوعها إبان هذه الفترة .

ونتيجة لتشتت أفكار هاطون العلمية أقدم زميله العالم جون بلاى فير *John Playfair* (١٧٤٨ - ١٨١٩) على إعادة طبع آراء هاطون من جديد فى عام ١٨٠٢ تحت عنوان «عرض لنظرية هاطون عن نشأة الأرض» *"Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth"* .

وقد ساعد ظهور هذا الكتاب الجديد على تعرف علماء الجيولوجيا على آراء هاطون كما تكونت مدرسة علمية من بعده تحت اشراف سير شارلس ليل *Sir Charles Lyell* الذى أكد نظرية التطور التدريجى البطئ للظواهر التضاريسية لسطح الأرض .

مرحلة ما بعد هاطون :

منذ بداية القرن التاسع عشر أدرك الجيولوجيون بأن سطح الأرض خلال عصر البلايوستوسين تشكل بفترات جليدية متعاقبة نتج عنها تكوين ظواهر جليدية شكلت المناطق التى تأثرت بالجليد . ويرجع الفضل إلى معرفة أثر الجليد فى تشكيل سطح الأرض إلى الدراسات التى قام بها العالم لويس أجازيز *Louis Agassiz* (١٨٠٧ - ١٨٧٣) . الذى لاحظ تكوين رواسب الركامات الجليدية فى مناطق لا تتغطى بالجليد فى الوقت الحاضر . وعلى ذلك استنتج أجازيز بأن الغطاءات الجليدية كانت أوسع امتدادا واتساعا خلال عصر البلايوستوسين عما تبدو عليه اليوم . وقد أكد بلاى فير *Playfair* عام ١٨١٥ من دراسته لمرتفعات جورا بأن المفتتات الإرسابية والحصى والحصباء المقشوط الجوانب المنتشرة تحت أقدام هذه المرتفعات إنما تكونت بفعل الجليد .

وظهرت بعد ذلك آراء المهندس السويسرى فنتز *Venetz* عام ١٨٢١ وكذلك آراء أسمارك *Esmark* عام ١٨٢٤ فى النرويج وبرنهاردى *Bernhardi* فى ألمانيا عام ١٨٣٢ ، التى أكدت جميعها بأن الجليد خلال الفترات البلايوستوسينية السابقة كان أوسع انتشارا عن الجليد الحالى الممثل فى المناطق الشمالية المتطرفة من أوربا . ومنذ عام ١٨٧٠ بدأت الدراسات الجيولوجية والجيومورفولوجية تؤكد بأن القارة الأوربية لم تتعرض لفترة جليدية واحدة *Monoglacial phase* ولكنها تعرضت لعدة فترات جليدية *Multiglacial phases* وكان يفصل بين كل فترتين جليديتين *Glacial*

phases فتـرة دفيئـة أو غيـر جليديـة *Interglacial phase* خـلال النصف الأخير من عصر البلايوستوسين .

أما عن الدراسات الخاصة بأشكال سطح الأرض فى بريطانيا خلال القرن التاسع عشر ، فقد عادت من جديد لتعتمد على المنهج الكيفى الذاتى ولم يستفد الكتاب من دراسات هاطون السابقة . وعلى ذلك لم تهتم معظم الدراسات البريطانية فى ذلك الوقت بالدراسة التفصيلية لأشكال الظواهر التضاريسية لسطح الأرض وتنوعها ولم تعن بمعرفة العوامل التى أثرت فيها أو التى غيرت فى أشكالها .

ويمكن القول بأن معظم كتاب بريطانيا خلال هذه الفترة من الزمن بذلوا محاولات غير جادة عند تقسيم الظواهر التضاريسية إلى مجموعات مختلفة تبعا للعوامل التى أدت إلى تكوينها . وقد تأثر كل كاتب بالظروف المختلفة التى تتمثل فى المنطقة التى أجرى بحثه فيها ، وأعتقد بأنها تتمثل بنفس هذه الصورة فى أى منطقة أخرى فى بريطانيا . ورجح بعض الكتاب فى بريطانيا (خلال القرن التاسع عشر) بأن معظم أراضى بريطانيا قد ترجع إلى فعل أى نوع من أنواع عوامل التعرية الرئيسية الآتية :

(١) التعرية الهوائية *Subaerial or atmospheric denudation*

(٢) التعرية البحرية *Marine Planation*

(٣) التعرية الجليدية *Glacial action*

وكـان من أنصـار الرأى الأول كل من وتيكر *Whitaker, 1976* وماو *Maw, 1865* وتيدمان *Tiddemann, 1868* وانستد *Ansted. 1868* . ومن مؤيدى التعرية البحرية كل من فيليبس *Phillips, 1853* وهل *Hull, 1857* وماكينتوش *Mackintosh, 1855* وجرين *Green, 1868* أما أصحاب التعرية الجيلدية فمنهم الباحث جودشيلد *Goodchild, 1872* الذى اقترح بأن معظم الظواهر التضاريسية فى بريطانيا ترجع إلى فعل التعرية الجليدية .

ومن دراسة أبحاث هذه المجموعة السابقة من الكتاب فى بريطانيا يمكن القول بأن نتائج دراساتهم كانت سطحية وتتصف بالعمومية إلى حد كبير حيث كان الباحث يقوم بإجراء العمل الحقلى فى منطقة كثيرا ما تكون واسعة المساحة (قد تبلغ ٥٠٠ ميل مربع) فى وقت قصير ويفترض الباحث استنتاجات ذاتية غير جادة .

غير أنه خلال هذه الفترة من الزمن (القرن التاسع عشر) ظهرت فى بريطانيا بعض الدراسات الجيومورفولوجية الجادة (التى كان لها الفضل فى التطور الحقيقى لمفاهيم المدرسة الجيومورفولوجية البريطانية) ومن بين هذه الدراسات تلك التى قام بها سير أندرو رامسى *Sir. Andrew Ramsy* (١٨١٤ – ١٨٩١) الذى عنى بدراسة بقايا السهول التحاتية البحرية القديمة فوق أعالى مرتفعات ويلز ، وتلك فى جنوب غرب انجلترا .

أما الأستاذ جوكس *B. Jukes* فقد عنى بدراسة التعرية النهرية وقسم المجارى النهرية فى جنوب ايرلندا عام ١٨٦٢ إلى مجموعتين هما :

أ – الأنهار العرضية *Transvers streams* التى تجرى فوق التكوينات الجيولوجية مهما كان الاختلاف فى درجة صلابتها .

ب – الأنهار الطولية *Longitudinal streams* التى تجرى فى التكوينات الجيولوجية اللينة والتى غالبا ما توجد موازية للاتجاه العام لمحاور الثنيات المحدبة والثنيات المقعرة . وأوضح بأن هذه الأنهار الطولية تكونت فى مرحلة متأخرة عن تلك الأنهار العرضية . ومن ثم فهى أنهار تالية *Subsequent streams* بينما تعد الأنهار العرضية أنهاراً أولية فى المنطقة *Consequent streams* وقد استعان وليم موريس دافيز بنتائج هذه الدراسات عند دراسته لعمليات الأسر النهرى .

أما فى بقية بلدان أوربا عامة وفى ألمانيا خاصة فقد ازدهرت المعرفة الجيومورفولوجية بفضل كتابات الباحث البرخت بينك *A. Penek* ، وقد

استخدم هذا الباحث المنهج الوصفى التحليلى عند دراسته للظواهر التضاريسية فى مرتفعات الألب . وقد عنى البرخت بينك بدراسة الانزلاقات الأرضية *Landslides* والعوامل التى تؤدى إلى تكوينها وأثرها فى تراجع الحافات الصخرية . ويعتبر البرخت بينك من أوائل الباحثين الذين بذلوا محاولات جادة فى تصنيف الأنماط المختلفة للإنهيارات الأرضية والأراضى المنزلقة وتساقط الصخور وتحرك التربة وتحديد العوامل التى تسهم فى نشأة هذه العمليات . وقد دون البرخت بينك دراساته فى كتاب شامل عن مورفولوجية الأرض *Morphologie der Erdoberfluche* ووضعت هذه الدراسة المبادئ الأساسية لفرع جديد من الجيولوجيا الطبيعية أطلق عليه فى هذه الفترة اسم «الجيولوجيا الفيزيوغرافية» *"Physiographic Geology"* .

وعند بداية هذا القرن اتبع فالتر *Walter* ابن البرخت بينك الطريق الذى سلكه والده من قبل ، ونشر كتابات عديدة كلها تدور حول تفسير الأشكال التضاريسية الجليدية خاصة فى ألمانيا . وعنى كذلك بدراسة ظاهرة الانزلاقات الأرضية وأنماط انحدارات سطح الأرض ومراحل تكوينها . ونشرت أهم أبحاثه فى كتابه المعروف باسم التحليل الجيومورفولوجى لظواهر سطح الأرض عام ١٩٢٤ *Die Morphologische Analyse-Morphological Analyses of landforms*

وقد اعتمد فالتر بينك على تمييز المفتتات الصخرية التى تحللت بدورها من الكتل الصخرية بواسطة عوامل التعرية المختلفة . ثم دراسة أشكال الانحدار فى المناطق التى تفتت فيها تلك المواد *Zone of erosion* وفى تلك المناطق التى تتجمع عندها تلك المواد *Zone of deposition* . وأوضح فالتر بينك بأن عملية تفتيت الصخر وتحلله تعد من أهم العمليات التى تؤدى بطريق مباشر أو غير مباشر إلى انخفاض منسوب سطح الأرض *Reduction-Aufberetung* . فى حين أن الرواسب والمفتتات الناجمة عن تفتت الصخر إما أن تنتقل من منطقة إلى أخرى بواسطة عوامل النقل المختلفة

، أو قد تترك فى نفس الموقع الذى تفتت فيه . وقد تكون حركة نقل المفتتات الصخرية بطيئة على شكل ما يسمى باسم عمليات زحف التربة وانسياب المواد الطينية *Soil creep and mud or Earth flow* أو حركة سريعة تعرف باسم تساقط الأرض وانزلاقها *Rock fall and Landslides* .

وقد اهتم فالتر بينك بدراسة أثر كل من فعل التعرية المائية فى تشكيل انحدارات سطح الأرض ، وتأثير قوة الجاذبية الأرضية فى نقل المفتتات الصخرية وانزلاقها على طول هذه الانحدارات . وقد أوضح فالتر بينك تفسيراته باستخدام رسوم وأشكال توضيحية متعددة ولكن يؤخذ عليها جميعاً أنها وضعت فى أشكال هندسية إفتراضية ، ولم يأخذ فالتر بينك فى الاعتبار أثر كل العوامل التحاتية التى تدخل فى تشكيل انحدارات سطح الأرض فى المناطق المختلفة . وعلى سبيل المثال لم يكن من الصواب أن يرجح فالتر بينك أن التراجع الخلفى لانحدارات سطح الأرض يتم فى مراحل متتالية ويؤلف فى كل مرحلة لاحقة سطوحا موازية لانحدارات المرحلة السابقة ويتناظر فعل عوامل التعرية ويتساوى أثره على طول الأجزاء المختلفة من أسطح الانحدارات .

تطور دراسة أشكال سطح الأرض في الولايات المتحدة الأمريكية وظهور المدرسة الجيومورفولوجية الدافيزية

أما بالنسبة للأبحاث الجيومورفولوجية التى أجريت فى نصف الكرة الغربى بوجه عام وفى الولايات المتحدة الأمريكية بوجه خاص فقد أكد الأستاذ زيتل *Zittel* عام ١٩٠١ بأن العصر الذهبى لعلم الجيولوجيا كان خلال الفترة من ١٧٩٠ إلى عام ١٨٢٠ ، وأوضح الأستاذ ثورنبرى *W. Thornbury* عام ١٩٥٨ بأن الفترة من عام ١٨٧٥ إلى عام ١٩٠٠ تعد هى الأخرى العصر الذهبى للدراسة الجيومورفولوجية فى الولايات المتحدة الأمريكية . ففى خلال هاتين المرحلتين تبلورت معظم المفاهيم الأساسية الخاصة لعلمى الجيولوجيا الطبيعية والجيومورفولوجيا .

ويعزى التطور السريع لعلم الجيومورفولوجيا فى الولايات المتحدة الأمريكية إلى نتائج الدراسات التى قام بها الجيولوجيون الأوائل عند انشاء الخرائط الجيولوجية والمسح الجيولوجى العام لأرض الولايات المتحدة الأمريكية وخاصة بعد الحرب الأهلية الأمريكية . ومن بين هؤلاء :

أ - ماجور باويل *Major J. Powell* (١٨٣٤ - ١٩٠٢) .

ب - الأستاذ جيلبرت *G. K. Gibert* (١٨٤٣ - ١٩١٨) .

جـ - الأستاذ داتون *C. E. Dutton* (١٨٤١ - ١٩٢١) .

وكان ماجور باويل رجلا عسكريا غير أنه بفضل مشاهداته الحقلية ودراسته الجيولوجية استطاع أن يؤسس مدرسة جيولوجية ذات طابع مميز تختص أساسا بدراسة الظواهر التركيبية لسطح الأرض *Structural Features* وخاصة فى القسم الغربى من الولايات المتحدة الأمريكية ، ولا تزال دراسات باويل عن منطقة خانق كلورادو العظيم ومرتفعات ينتا *Unta Hills* هى أساس لأية دراسات جيولوجية حديثة عن هذه المنطقة .

وقد صنف باويل مرتفعات ينتا *Uinta* تبعا لاختلاف التركيب الجيولوجى وميز مجموعات المجارى النهرية إلى مجموعتين هما :

أ - أنهار تنقسم إلى عدة رتب تبعا للعلاقة بينها وبين مجرى النهر الرئيسى وذلك مثل الروافد الرئيسة التى تصب فى المجرى النهرى مباشرة ورتب الروافد الثانوية التى تصب فى الروافد الرئيسة للنهر .

ب - مجموعات أخرى من المجارى النهرية تبعا لاختلاف نشأتها والظروف التى أدت إلى تكوينها .

ويعد «باويل» أول من أشار إلى مجموعات جديدة من الأنهار التى لم تدرس من قبل مثل مجموعة الأنهار المناضلة *Antecedent streams* والأنهار الأصلية *Gonsequent streams* والأنهار المنطبعة *Superimposed*

streams والتى لاتزال تستخدم مرادفاتها حتى اليوم فى الدراسات الجيومورفولوجية المعاصرة .

إلا أن أهم المفاهيم التى اكتشفها ماجور باويل هو ما أطلق عليه تعبير «مستوى القاعدة» *Base-level* . فقد كانت الدراسات الجيولوجية فيما قبل تؤكد بأن الأنهار تنحت فى التكوينات الجيولوجية وفى المناطق التى تجرى فيها إلى أن تصل بصورتها إلى حالة الشيخوخة أو نهاية التطور . ولكن لم توضح هذه الدراسات المدى أو العمق الرأسى الذى يمكن أن ينحته مجرى النهر . ومن ثم أوضح باويل بأن المجارى النهرية لها القدرة على نحت وتعميق مجاريها رأسيا إلى أن تصبح الأرض عند أجزاء أوديتها الدنيا قريبة جدا من مستوى سطح البحر *Sea-level* الذى تصب فيه . وأطلق على مستوى سطح البحر تعبير «مستوى القاعدة» *Base-level* وكانت هذه الملاحظات من بين أهم المفاهيم التى قام وليم موريس دافيز بتعديلها وتحقيقها فيما بعد إلى أن اكتشف نظرية السهول التحاتية النهرية *Peneplains* .

أما الأستاذ جروف كارل جيلبرت ، فإنه يعد بحق رائد الجيومورفولوجيا الأمريكية . ويرجع إليه الفضل فى وضع أسس الدراسة الجيومورفولوجية وتأسيس المدرسة الجيومورفولوجية الأمريكية التى عنيت بدراسة عوامل التعرية الهوائية أو الخارجية *Subaerial or atmospheric denudation* . وعنى جيلبرت بدراسة أثر كل عامل من عوامل التعرية الخارجية فيما يقوم به من نحت ونقل وارساب فى مناطق غرب الولايات المتحدة الأمريكية . واهتم هذا الباحث بدراسة عمليات التعرية الجانبية للأنهار *Lateral planation* وكيفية نشوء المدرجات النهرية *River terraces* كما قام بعدة محاولات لدراسة هيدرولوجية المجارى النهرية دراسة كمية والكشف عنها وأسباب تنوع حمولتها واختلاف سرعتها .

ودرس جيلبرت بقايا المدرجات البحرية المنتشرة حول البحيرة الملحية الكبرى *The great salt lake* واستنتج بأن هذه البحيرة كانت أكبر اتساعا

خلال القسم الأوسط من عصر البلايوستوسين (خلال الفترات المطيرة فى هذه المنطقة) عما هى عليه . كما لم تكن مياه البحيرة شديدة الملوحة ، وأطلق عليها اسم بحيرة بونيفيل *Lake Bonneville* القديمة .

وقد عنى جيلبرت بالدراسة الجيولوجية لمرتفعات هنرى *Henry Mts.* فى ولاية يوتاه غرب الولايات المتحدة الأمريكية ، وأكد بأنها تعرضت للتشكيل بواسطة المصهورات النارية الداخلية *Intrusive igneous rocks* وأطلق عليها تعبير القباب النارية الداخلية *Laccolith* ويعد جيلبرت كذلك أول من حاول دراسة المناطق الصدعية الكبرى فى غرب الولايات المتحدة الأمريكية ودراسة الحافات الصدعية وخصائصها المورفولوجية ، وهو صاحب تعبير «الكتل الصدعية والأحواض الصدعية» *Fault block Basin* فى منطقة الحوض العظيم *The Great Basin Region* .

أما الأستاذ داتون ، فقد نشر عدة مقالات اختص كل منها بدراسة ظواهر جيومورفولوجية محددة خاصة فى منطقة هضبة كلورادو ، ودرس داتون فيها أسباب تباين أشكال الظاهرة الواحدة من منطقة إلى أخرى ، وتطور شكل هذه الظاهرة منذ بداية نشأتها إلى مظهرها الذى تبدو به اليوم .ورجح بأن ظواهر سطح الأرض معرضة فى النهاية لأن تتآكل وتتلاشى بفعل عوامل التعرية ، وهذه المرحلة النهائية فى تطور الظاهرة أطلق عليها داتون اسم «مرحلة التعرية الكبرى» *The Great Denudation* .

وليم موريس دافيز W. M. Davis

يعد العالم الأمريكى وليم موريس دافيز (١٨٥٠ - ١٩٣٤) موسس علم الجيومورفولوجيا *Geomorphology* وذلك لما أضافه من معلومات ومفاهيم كانت ولا تزال الأساس الذى بنيت عليه دعائم الدراسة الجيومورفولوجية فى العالم . وتبعا لتعدد الجوانب الجيومورفولوجية التى قام دافيز بدراستها ، وبما اقترحه من نظريات وما توصل إليه من مفاهيم علمية ، اعتماداً على نتائج أبحاثه الحقلية ، استطاع دافيز أن يضع لعلم الجيومورفولوجيا قواعده وأصوله

وأن يميزه عن غيره من العلوم الأخرى وخاصة بما كان يعرف باسم الجيولوجيا الطبيعية أو الفيزيوغرافية *Physical or physiographic Geology* .

وبفضل انتشار أبحاث وليم موريس دافيز وكتاباته لها بعد لغات منها الانجليزية والفرنسية والألمانية والايطالية والأسبانية، استطاع أن يؤسس مدرسة علمية واسعة الانتشار فى العالم تتبع منهجه وتنسج على منواله وعرفت باسم «المدرسة الجيومورفولوجية الدافيزية أو الأمريكية» *The Davision or The American School of Geomorphology* .

وكانت كتابات وليم موريس دافيز تعنى عناية خاصة بتحديد معنى كل اصطلاح علمى يستخدم فى الدراسة الجيومورفولوجية وألف المئات من المصطلحات الجيومورفولوجية الجديدة التى لم يسبق لغيره أن استخدمها من قبل ، هذا إلى جانب اهتمامه بالتحليل الوصفى التجريبى للظواهر التضاريسية المختلفة ، ومحاولاته تصنيف هذه الظواهر ووضعها فى مجموعات تتفق فيما بينها من حيث نشأتها أو اختلاف أشكالها . ومن ثم يصف الأستاذ ثورنبرى *Thornbury, 1958 p. 11* العالم وليم موريس دافيز بقوله :

"Davis was basically a great definer, analyst, and systematizer"

وقد كانت الدراسة الجيومورفولوجية فيما قبل وليم موريس دافيز تعتمد على المنهج الوصفى *Decriptive approach* غير أن دراسات دافيز اعتمدت على تحليل أشكال ظواهر سطح الأرض ومعرفة نشأتها وتطورها *Genetic approach* فى الحقل .

وعند دراسة دافيز للظواهر التضاريسية لسطح الأرض وتنوع أشكال هذه الظواهر من منطقة إلى أخرى (بل قد تتنوع هذه الظواهر فى المنطقة الواحدة خلال فترات زمنية مختلفة) أوضح دافيز المفهوم الجيومورفولوجى الشائع الانتشار اليوم وهو أن «ظواهر سطح الأرض تختلف من منطقة إلى أخرى تبعا لما يلى :

أ - البنية والتكوين الجيولوجى *Structure and lithology*

ب – القوى (التى تشكل الظواهر التضاريسية) *Processes*
جـ – مراحل النمو – أو الزمن *Stage*

ويقصد دافيز «بالبنية» *Structure* نظام بناء الطبقات الصخرية فالصخور النارية تظهر على شكل كتل فى حين تظهر الصخور الرسوبية على شكل طبقات أفقية أو مائلة أو ملتوية محدبة أو ملتوية مقعرة أو انكسارية . أما التكوين الجيولوجي *Lithology* فيقصد به المواد التى تتألف منها التكوينات الصخرية وما إذا كانت هذه المواد متجانسة أو غير متجانسة ثم العلاقة بين هذه المواد وفعل التعرية والتجوية ، فقد تكون تكوينات لينة ضعيفة لا تقاوم فعل التعرية والتجوية ، وقد تكون صلبة تقاوم هذا الفعل . أما القوى فيقصد بها دافيز العوامل الخارجية التى تشكل مظهر سطح الأرض مثل فعل الأنهار والجليد والبحر والرياح والمياه الجوفية ، والعوامل الداخلية ، مثل حركات الثنى أو الطى والحركات الصدعية وأثرها فى تشكيل ظواهر سطح الأرض . وقد يصادف الباحث منطقتين متشابهتين من حيث البنية والتكوين الجيولوجي والعوامل الخارجية التى تشكلهما ، ومع ذلك قد تتنوع الظواهر فى كل منهما ، وقد يعزى ذلك إلى أن أحداهما قد تكون منطقة أحدث عمرا عن الأخري، ومن ثم يختلف فيهما أثر أو مدى عوامل التعرية تبعا لطول الفترة الزمنية التى تشكلت خلالها هذه الظاهرات .

وعلى ذلك اهتم دافيز بدراسة تطور مراحل تكوين ظاهرات سطح الأرض ، ودعم دافيز المفهوم الهاطونى القائل بأن «الحاضر مفتاح الماضي» ولذلك أعلن الباحث الأمريكى راسيل *Russell* عام ١٩٠٤ (أحد زملاء دافيز) بأن الدراسة الجيومورفولوجية بعثت أو ولدت من جديد بظهور نظرية «التطور» *Geomorphology was vivified by evolution*.

وإذا كان دسماريه الفرنسى (١٧٣٥ – ١٨٢٥) هو أول من أوضح بأن الأودية النهرية لا تتكون فى مرحلة زمنية واحدة ، فإن وليم موريس دافيز أوضح بأن الأودية النهرية تختلف فيما بينها تبعا (للدورة الجغرافية) لكل منها

. وقد كان يقصد بالدورة الجغرافية *Geographical Cycle* الدورة التحاتية أو الجيومورفولوجية *Cycle of Erosion or Geomorphological Cycle* .

وقد أوضح دافيز أن لفعل التعرية النهرية دور كبير فى نظام سير الدورة التحاتية نفسها . ففى المناطق ذات النهار القوية التى تتميز بشدة تحاتها الرأسى والجانبى يتآكل سطح الأرض بسرعة ، ويتعرض لعمليات التقسيم بواسطة الأودية النهرية المتعمقة ، وتتكون منطقة من سطح الأرض تتميز بوعورتها وشدة تضرسها . وقد أشار دافيز أن مثل هذه الحالة تكون فى مرحلة الطفولة (أى بداية النمو) ذلك لأن فعل عوامل التعرية لا يزال قويا ولم يبلغ بعد المدى الذى يضعف فيه حتى تشيخ ظواهر سطح الأرض ، والى أن تصل صورتها إلى حالة شبه الثبات *State of Equilibrium* وبعدها تصبح بطيئة التغيير والتعديل . ومن ثم قسم دافيز مراحل تكوين ظواهر سطح الأرض إلى الآتى :

(١) مرحلة الطفولة — *Young stage*
(٢) مرحلة الشباب — *Mature stage*
(٣) مرحلة النضج أو الشيخوخة — *Old or senile stage*

وقد تقسم كل من هذه المراحل الرئيسة بحسب مظهرها الجيومورفولوجى إلى مراحل ثانوية ، فقد تقسم مرحلة الطفولة مثلا إلى ثلاث مراحل هى :

أ – مرحلة الطفولة المبكرة — *Early young stage*
ب – مرحلة الطفولة المتوسطة — *Mild - young stage*
جـ – مرحلة الطفولة المتأخرة — *Late - young stage*

وإذا مرت الظاهرة التضاريسية بجميع هذه المراحل بانتظام دون اضطرابات أو تقطع فى الدورة *Interruptions* فإنها بذلك تكون قد أكملت دورة تحاتية كاملة *A complete Cycle* . أما إذا اضطربت الدورة التحاتية لهذه الظاهرة بسبب حدوث حركات تكتونية جديدة فى المنطقة تؤدى إلى

ارتفاع الأرض وإعادة مظهر الطفولة للمنطقة ومن ثم اعادة مرحلة الطفولة من جديد أى اعادة بداية الدورة دون أن تكتمل الدورة الأولى ، فإنها فى هذه الحالة تعرف باسم الدورة التحاتية الناقصة *Partial cycle* . أما إذا تكونت الظاهرة التضاريسية خلال أكثر من دورة تحاتية بحيث تكتمل فى كل حالة كل من الدورات التحاتية المختلفة فإن هذه الظاهرة التضاريسية تعرف باسم *"A Multicyclic Feature"* .

وقد بين وليم موريس دافيز كذلك بأن من أهم العوامل التى تساعد على عملية النحت الرأسى *"Vertical Erosion"* للأنهار بالاضافة إلى أثر فعل حمولة الأنهار من رواسب هو تغيير مستوى سطح البحر - *Change of Sea Level* . وقد يكون هذا التغير إما بسبب ارتفاع سطح الأرض عن البحر المجاور أو بسبب انخفاض البحر عن سطح الأرض المجاور. وينجم عن انخفاض منسوب سطح البحر أو ارتفاع الأرض تعزيز فعل النحت الرأسى للمجارى النهرية حيث أنها ستحاول بدورها أن تعمق مجاريها ، وتصل بها إلى المستوى الجديد الذى انخفض إليه منسوب سطح البحر ، ومن ثم حقق دافيز ما أوضحه ماجور باويل *Major J. W. Powell* من قبل عن مستوى القاعدة *Base-level* إلا أن دافيز أوضح كذلك بأن مجرى النهر لا يمكن أن يكون فى جميع أجزائه عند نفس مستوى سطح البحر ، حيث لابد أن يكون منحدرا نسبيا لتنساب المياه فيه من أعالى النهر إلى منطقة المصب ، وعندما يصل مجرى النهر إلى هذه الحالة بحيث يكاد ينعدم فيه النحت الرأسى فأنه يعرف باسم «النهر المنحوت أو شبه الثابت» *graded stream* . وغالبا ما يكون النهر فى حوضه خلال هذه المرحلة السهول التحاتية النهرية الواسعة *Peneplains* . أما إذا كان النهر لا يصب فى البحر ، ويصب فى بحيرة أو فى حوض داخلى فإن مدى عمق النحت الرأسى لمجرى هذا النهر يتوقف تبعا للفرق بين منسوب مجرى النهر من ناحية ومنسوب فوهة النهر عند المصب من ناحية أخرى ، وعندما يكون هذا الفرق كبيراً يؤدى ذلك إلى شدة النحت

الرأسى . ويطلق على هذا المستوى المحلى الذى ينحت إليه النهر رأسيا اسم *Local or Strctural Base-level* .

وقد عنى وليم موريس دافيز بدراسة تطور التصريف النهرى أثناء مراحل الدورة التحاتية . وأطلق على الأنهار الأولية (التى تتكون عند بداية الدورة) والتى تتأثر اتجاهاتها بالانحدار العام للمنطقة والذى غالبا ما يكون متفقا مع الميل العام للطبقات اسم الأنهار الأصلية والأولية *Consequent or Dip-Type streams* ولكن أثناء الدورة التحاتية تكتشف بعض الأنهار المناطق الضعيفة جيولوجيا فى الصخر ، وهذه غالبا ما تكون مناطق الشقوق على طول مضرب الطبقات أو خط ظهور الطبقات . وأطلق دافيز على هذه المجموعة الثانية من الأنهار اسم «الأنهار التالية» *Subsequent or strike-type streams* . وحيث إن هذه الأنهار تتكون فى مناطق ضعيفة جيولوجيا فإن لها القدرة على تعميق أوديتها رأسيا ، ومن ثم قد تقوم بأسر الأنهار الأصلية الأولية وتؤدى إلى تغيير الاتجاه العام لخطوط التصريف النهرى .

نقد آراء وليم موريس دافيز :

على الرغم من أن الدراسات التى قام بها وليم موريس دافيز هى ركائز علم الجيومورفولوجيا ودعائمه إلا أنها لم تسلم من النقد ، ومن بين أهم الاعتراضات التى واجهت دراسات دافيز ما يلى :

١ - أوضحت الدراسات الحديثة ، خاصة دراسات تريكار وكيليه *Tricat and Cailleux, 1972* وشورلى *Chorley 1957* وكوربل *Corbel 1966* وشتينر *Steiner* وستراخوف *Strakhov, 1957* بأنه على الرغم من أن وليم موريس دافيز كان يعلن دائماً بأن ظواهر سطح الأرض ما هى إلا نتيجة للعلاقات المتبادلة بين أثر كل من التكوين الجيولوجى والبنية ، وعوامل التعرية ، والزمن الذى تتكون فيه الظواهر ، إلا أنه بطبيعة كونه جيولوجيا ، فقد عنى عناية خاصة بدراسة ظواهر السطح التركيبية *Structurally*

Controlled features مثل دراسة الحافات الصخرية *Scarps* والجروف البحرية *Marine cliffs* والمدرجات الصخرية *Structural bences* وحتى عند دراسة وليم موريس دافيز للمدرجات النهرية اهتم بدراسة أثر التركيب الجيولوجي في تكوين تلك الظواهر ، ولم يكترث بدراسة تغير أشكال كل منها تحت ظروف مناخية مختلفة .

وتتضح أثر الخلفية الجيولوجية لوليم موريس دافيز عند دراسته للمجاري والأودية النهرية في بنسلفانيا (١) ، وأنهار المنطقة الشمالية من نيوجرسي (٢) ، والتطور الجيومورفولوجي والأسر النهري بين أنهار السين والميز والموزيل (٣) ، وأثر التكوين الجيولوجي والبنية في تكوين الحافات الصخرية والحافات الصدعية في منطقة الحوض العظيم بغرب الولايات المتحدة الأمريكية (٤) .

٢ - أوضح كثير من الباحثين وعلى رأسهم الأستاذ فالتر بينك *Penck* في عام ١٩٢٠ بأن وليم موريس دافيز تقيد عند اقتراحه «للدورة الجغرافية *Geographical Cycle*» بالعوامل الجيولوجية أكثر من عنايته لمدى فعل عوامل التعرية المختلفة التي تشكل ظواهر سطح الأرض خلال الأزمنة الجيولوجية المتعاقبة ولا تعد هذه الدورة جغرافية في شئ بل هي دورة تحاتية *Cycle of erosion* لظواهر سطح الأرض المختلفة . وتبدأ الدورة التحاتية الدافيزية بحدوث حركات رفع تكتونية في المنطقة بحيث تؤدي إلى ارتفاع

---

(1) W. M. Davis "The rivers and valleys of Pennsylvania" National Geog. Mag. (1889) 1, 183 - 253.

(2) W. M. Davis "The rivers of Northern New - Jersey" National Geog. Mag (1890) 11, 81 - 110.

(3) W. M. Davis "The Seins, The Meuse and The Moselle" National Geog. Mag. (1896), 189 - 202.

(4) W. M. Davis "The Mountain ranges of Great Basin" Bull Museum of Comperative Ziology. (1903) XLII , 129 - 177.

منسوب الأرض عن البحر المجاور ومن ثم يشتد فعل النحت الرأسى للمجارى النهرية (١) أو بمعنى آخر ان فعل التعرية النهرية يرتبط بالحركات التكتونية التى تعرضت لها المنطقة التى تشقها تلك الأنهار ، ولم يهتم دافيز بدراسة الذبذبات المناخية (من مراحل جفاف ومراحل غزيرة الأمطار) وأثرها فى سرعة أو بطء التعرية النهرية فى منطقة ما . وحتى عند دراسة دافيز للدورة التحاتية فى المناطق الصحراوية فقد رسم معالم هذه الدورة بالنسبة لحافات خاصة تأثرت بالحركات الصدعية وأن تراجعها الخلفى *Scarp recession* يتأثر هو الآخر بالتكوين الجيولوجى والبنية أكثر من تأثره بمدى فعل عوامل التعرية المختلفة تحت هذه الظروف المناخية (٢) .

وعلى الرغم مما يقال على دراسات دافيز ومدى تأثرها بالخلفية الجيولوجية ، فيجب أن ندرك بأن الجيومورفولوجيا الدافيزية أيام وليم موريس دافيز كانت فى البداية جزءا من الدراسة الجيولوجية الفيزيوغرافية *Physiographic Geology* .

ومع ذلك حاول دافيز أن يوضح أثر فعل عوامل التعرية فى تشكيل ظواهر تضاريسية خاصة ، ونلاحظ ذلك فى مقالاته المتعددة عن التعرية الجليدية فى فرنسا (٣) ، والظواهر الجليدية لمرتفعات اسكتلندا (٤) وتشكيل الجبال فى المناطق الصحراوية الحارة الجافة لظواهر جيومورفولوجية مميزة تحت تأثير

---

(1) Davis W. M. "The geographical cycle" Geog. Jour. 14 (1899) 484 - 504.

(2) Davis W. M. "The geographical cycle in an arid climate" Jour. Geol. 13 (1905) 381 - 407.

(3) Davis W. M. "Glacial ersion in France" Proc. Boston. National History (1900) 273 - 322.

(4) Davis W. M. "The sculpture of mountains by glaciers" Scottish Geog., 22 (1906) 58 - 76.

المناخ الحار الجاف (١) وتكوين ظواهر الغطاءات الفيضية والفيضانات النهرية (٢) .

٣ - اعتمد دافيز عند تحليله لتعدد أشكال الظاهرة التضاريسية الواحدة من مكان إلى آخر فوق سطح الأرض على طول المدة الزمنية التى تعرضت لها تلك الظاهرة ومن ثم قد تكون ظاهرة حديثة العمر *Young stage* أو متوسطة العمر *Youth stage* أو قديمة العمر *Old stage* . وعند وصول الظاهرة التضاريسية إلى نهاية مرحلة نموها (عندما تكون قديمة العمر وتتميز بتكوين الأراضى السهلية الواسعة الامتداد) تكون قد أتمت دورة تحاتية كاملة *A complete cycle of erosion* وأثناء مراحل نمو هذه الظاهرة قد تتعرض من جديد لحركات رفع تكتونية (تأثير جيولوجي) تعمل بدورها على اعادة الدورة التحاتية أو بدايتها من جديد دون أن تكتمل مراحل الدورة التحاتية الأولى ، وتصبح هذه الأخيرة دورة ناقصة *A partial cycle* . ومن ثم يطلق بعض الباحثين على الجيومورفولوجيا الدافيزية تعبير الجيومورفولوجيا الدورية *Cyclic Geomorphology* . وحتى أن هذه الدورات التحاتية يرتبط نشاطها وبداية دوراتها وسرعة أو بطء هذه الدورات حسب رأى دافيز بفعل الحركات التكتونية والتكوين الصخرى ولم يهتم دافيز بأثر الذبذبات المناخية فى تشكيل الظواهر التضاريسية وأثر فعل تغير المناخ خلال الأزمنة الطويلة التى تتعرض لها تلك الظواهر للتشكيل والتغيير أثناء ما أسماه «دوراتها الجغرافية» . ومن ثم أوضح الأستاذ تريكار فى عام ١٩٧٢ ، بأن تقطع الدورة التحاتية المثالية *Interruptions of the ideal cycle* ليس من الضرورى أن يرتبط بالحركات التكتونية بل قد يكون أكثر ارتباطا بالتغيرات المناخية (٣) ، وأن نقط

(1) Davis W. M. "Geomorphology of mountainous deserts" Reports of thr 16th Inter. Geol. Congress 2 (1934) 703 - 714.

(2) Davis W. M. "Sheetfloods and stream flood" Bull. Geol. Soc. Amer, 49 (1938) 1337 - 1516.

(3) Tricart J. and Cailleux A, "Introduction to climatic Geomorphology" London, 1972

التجديد *Knickpoints- points of rejuvenation* قد تنشأ بسبب اختلافات النظام المائى وهيدرولوجية المجرى النهرى (خلال تتابع فترات جافة وفترات مطيرة) وليس بسبب جريان النهر فوق صخور مختلفة الصلابة فقط ، أو بفعل حركات رفع تكتونية تعرض لها المجرى النهرى .

٤ – اعترض تريكار وزميله كيليه *Tricart and Cailleux, 1972* على جميع الأشكال التوضيحية التى فسر بها دافيز نظريته عن الدورة التحاتية وذلك لأن هذه الأشكال فى نظرهما توضح الأرض وكأنها جرداء خالية من أى غطاء نباتى وأغفل دافيز أثر هذا العامل الأخير فى تشكيل ظواهر سطح الأرض وفى سرعة أو بطء عوامل التعرية . وعلى الرغم من أن دافيز أكد بأن السهل التحاتى *Peneplains* الذى يتكون فى نهاية الدورة التحاتية يلزم تكوينه ملايين السنين ، إلا أنه أهمل أثر التغيرات المناخية خلال هذه الفترة الطويلة من الزمن ، وما ينتج عنها من عوامل تعرية مختلفة تعمل على تشكيل سطح الأرض بدرجات تتفاوت مداها من فترة إلى أخرى . وقد أشار الأستاذ لويز [1] *Louis, 1957* إلى هذه الحقيقة من قبل وأكد ضرورة العناية بدراسة العوامل *Processes* التى تتغير تبعا لتغير المناخ فى الإقليم الواحد (من زمن إلى آخر) بل وبين إقليم ما وإقليم آخر خلال الزمن الواحد وذلك دون الاهتمام فقط بالتكوين الجيولوجى للظواهر ومواقعها بالنسبة لمراحل الدورة التحاتية .

٥ – أوضح تريكار وزميله كيليه كذلك بأن ظواهر سطح الأرض تتشكل بفعل التكوين الصخرى ـ أى مادة الصخر ـ وهو عامل ثابت بالنسبة للظاهرة التضاريسية ، وبفعل العوامل الخارجية ، وهذه الأخيرة عوامل يتغير مدى فعلها من زمن إلى آخر حيث قد ينشط فعل التعرية النهرية فى زمن ثم

(1) Louis, H., "The Davisian cycle of erosion and climatic geomorphology" Proc Int. Geog. Union. Regional Conf. Japan, 1957, 116 - 164.

ينشط فعل التعرية الجليدية فى زمن آخر ، ولهذا كله أثره فى تشكيل الظاهرة التضاريسية خلال مراحل نموها ويظهر تأثير المناخ فى تشكيل الظواهر التضاريسية أما بطريق مباشر كما هو الحال عند تنوع الظواهر التضاريسية التى تتركب من تكوينات جيولوجية متشابهة غير أنها تكتسب أشكالا مختلفة إذا ما تكونت فى أقاليم مناخية متباينة . فالحافات الصخرية مثلا تكتسب مميزات مورفولوجية متنوعة إذا ما تكونت فى مناطق مختلفة تحت ظروف المناخ المدارى الرطب أو الصحراوى الحار الجاف أو مناخ البحر المتوسط أو المناخ شبه الجليدى أو المناخ الجليدى . وقد تتأثر الظواهر التضاريسية بفعل المناخ بطريقة غير مباشرة عن طريق عامل وسيط هو النباتات الطبيعية والغطاءات الإرسابية التى قد تحمى التكوينات الصخرية من التعرض لفعل التجوية والتعرية .

وأوضح تريكار وكيليه بأن الغطاءات النباتية تقلل من تأثير فعل عوامل التعرية فى الصخر ، بينما قد تساعد فى نفس الوقت على سرعة تعرض الصخر للتجوية الكيميائية . وقد ذكرا بأن علم الجيومورفولوجيا التطبيقية *Applied Geomorphology* لابد وأن يهتم بدراسة العوامل المناخية والنباتية والتربة عند دراسة الأشكال التضاريسية لسطح الأرض وأسباب تنوع خصائصها المورفولوجية من منطقة إلى أخرى ، حتى يتضح أنسب الوسائل الخاصة لاستغلال سطح الأرض عند انشاء الطرق واقامة المشروعات المختلفة .

كما ينبغى على الباحث أن يهتم كذلك بدراسة المناخ القديم ومدى تذبذب المناخ من فترة إلى أخرى *Palaoeclimatic Oscillation* وأثر ذلك على تشكيل ظواهر سطح الأرض التضاريسية ، هذا إلى جانب ضرورة العناية بدراسة المناخ الحالى *Present climate* وعوامل التعرية الناتجة عنه وأثرها فى تشكيل سطح الأرض . وعلى ذلك قرر كل من تريكار وكيليه *Tricart and Cailleux* بأن ظواهر القسم الأكبر من سطح الأرض تعد من الوجهة

المناخية ظواهر مورفومناخية مركبة أى تشكلت بعوامل تحاتية مختلفة تحت ظروف مناخية متباينة .

"The topography of the greater part of land areas is now a polygenic relief from the climatic point of view"

٦ - اعترض تريكار وكيليه كذلك على آراء وليم موريس دافيز فيما يتعلق بتطور أشكال انحدارات سطح الأرض *evolution of slope* خلال الدورة التحاتية . فحسب دراسات دافيز تبدأ الدورة التحاتية فى مناطق مرتفعة تتميز بانحدارات مقعرة ومحدبة . وتعمل عوامل التعرية فى المحدبات العليا *upper convexities* وتنحت صخورها وتنقل مفتتاتها إلى المقعرات السفلى *lower concavities* وباستمرار التراجع الخلفى للحافات *scarp recession* وتآكل المحدبات والارساب فى المقعرات ، يتكون فى النهاية انحدارات بسيطة هينة *gentle slope* تصبح شبه ثابتة *in a state of equilibrium* بعد أن تكون قد نحتت بشدة *degraded slopes* هذه الانحدارات الهينة تميز السهول التحاتية الهائلة الامتداد *peneplains* والتى تتكون فى نهاية الدورة التحاتية . الا أن تريكار وكيليه *1972, p. 225* يؤكدا بأنه ليس من الضرورى أن انحدارات سطح الأرض تصبح هينة وأكثر استواء خلال نهاية الدورة التحاتية وأن المعلومات الجيومورفولوجية الحديثة لا تؤكد على أن الانحدارات تصبح أكثر استواء خلال نهاية مراحل تطورها تحت الظروف المناخية المختلفة .

ويوضح الأستاذ تريكار *Tricart* بأن منحدرات سطح الأرض فى المناطق المعتدلة قد تصبح أكثر شدة عند نهاية دورتها التحاتية عما كانت عليه من قبل ، وأن المنحدرات الشديدة فى المناطق شبه المدارية تظل كما هى شديدة الانحدار حتى فى نهاية دورة نموها . فكثيرا ما تشاهد فى هذه المناطق التلال المنعزلة *inselbergs* الشديدة الانحدار واقفة مرتفعة فوق المناطق المجاورة السهلية .

يتضح من هذا العرض أن مفاهيم الجيومورفولوجيا الدافيزية الكيفية

inductive بدأت تنسحب تدريجيا من ميدان الدراسة الجيومورفولوجية المعاصرة وأفسحت المجال لظهور اتجاهات جديدة فى الجيومورفولوجيا المعاصرة اعتمدت على استخدام قاعدة عريضة من المعلومات المستمدة من البحث الحقلى والتقنيات الحديثة وتظهر هذه الاتجاهات الجديدة بشكل واضح فى كل من :

أ - الجيومورفولوجيا المناخية *Climatic geomorphology*

ب - الجيومورفولوجيا الاستدلالية الكمية *Deductive Statistical geomorphology*

وهكذا تهتم الدراسات الجيومورفولوجية المعاصرة باستخدام كافة وسائل التقنيات الحديثة ، واتباع أساليب علمية مطورة بقصد الحصول على كم هائل من المعلومات والبيانات الهامة والأدلة المؤكدة للوصول إلى استنتاجات ونتائج كمية قيمة لها دلالاتها العلمية . ومن ثم شاع اليوم استخدام الجيومورفولوجيين للصور الجوية وللمرئيات الفضائية (لاندست) وتفسيرهما ، وكذلك استخدام الحاسب الآلى المتطور *Electronic Computer* ودراسات الاستشعار من بعد *Remote Sensing* والاستفادة من نظم المعلومات الجغرافية *Geographical Information Systems (GIS)* فى الدراسات الجيورمورفولوجية المعاصرة .

الفصل الثالث

وسائل البحث الحديثة في الدراسة الجيومورفولوجية ومناهجها واتجاهاتها

كان لكتابات كل من وليم موريس دافيز فى أمريكا ، وجيمس هاطون فى انجلترا وفالتر بينك فى ألمانيا ، أثرا كبيرا فى دفع عجلة المعرفة الجيومورفولوجية خطوات سريعة فى طريق التطور والتقدم ، وبفضلها أخذت تتطور مناهج الدراسة الجيومورفولوجية وأساليب البحث فيها واتجاهاتها عما كانت عليه من قبل خلال مراحل نشأتها الأولى فى نهاية القرن التاسع عشر . وقد بذل كتاب هذا الجيل من الجهد الكثير لدراسة سطح الأرض وظواهره دراسة عملية قائمة على أسس علمية وكمية وتغيرت المناهج الكيفية الوصفية التقليدية وحل محلها فى الميدان مناهج علمية كمية استدلالية جديدة ، ساعدت بدورها على اتساع أفق الدراسة الجيومورفولوجية المعاصرة وتتلخص هذه المناهج فى الآتى :

المنهج الإقليمي Regional Approach

تميز القرن العشرون بازدهار الدراسات الجغرافية الإقليمية وبتطورها ، وإن كانت دراسة الأقاليم الجغرافية الكبرى جاءت متأخرة نسبيا عن دراسات كل من الأقاليم التضاريسية والمناخية ، والنباتية لأجزاء سطح الأرض . وأصبح من مهام الدراسات التفصيلية لأفرع علوم الجغرافيا ، خدمة الدراسات الجغرافية الإقليمية التى تختص بدراسة أجزاء مختلفة سطح الأرض . ومن ثم أكد الأستاذ كريسى عام ١٩٥١ بأن مهمة علم الجغرافيا تتلخص فى جمع المعلومات من مصادر متنوعة ، وابرازها بصورة جغرافية خاصة بحيث توضح هذه المعلومات الشخصية الجغرافية لمنطقة محددة من سطح

الأرض (١) .

وقد يسلك بعض الباحثين المنهج الإقليمى فى الدراسات الجغرافية تحت تأثير الشعور القومى . ومن ثم يرتبط المنهج الإقليمى فى هذه الحالة بالظروف السياسية وبهدف إبراز الشعور القومى للدولة .

والمقصود بالمنهج الإقليمى فى الدراسات الجيومورفولوجية هو دراسة إقليم معين من سطح الأرض وتمييز الظاهرات الجيومورفولوجية التى تشكل سطحه وتفسير التوزيع الجغرافى لهذه الظاهرات وتتبع نشأتها ومراحل تطورها ، ثم جمع هذه الظاهرات وتصنيفها إلى أقاليم جيومورفولوجية ثانوية يختلف كل منها من حيث خصائصه ومميزاته الجيومورفولوجية . وباتباع هذا المنهج يعرض الباحث عادة لمشكلة مهمة وهى كيفية تحديد الإقليم الجيومورفولوجى نفسه والذى تخصه الدراسة بالذكر . فقد قام بعض الكتاب مثلا بدراسة أقاليم معينة يميز حدودها وأبعادها اختلاف مظهرها الجيومورفولوجى العام عن الأقاليم الأخرى المجاورة لها . ومن بين هذه الأبحاث ، تلك التى أجريت لدراسة إقليم السهول الوسطى فى الولايات المتحدة الأمريكية وتحديد صفاته الجيومورفولوجية وتقسيمه إلى أقاليم ثانوية تبعا لاختلاف أشكالها ومظاهرها (٢) . هذا على الرغم من تضارب آراء الباحثين فى تحديد أبعاد إقليم السهول الوسطى الأمريكية وكيفية تمييزه عن غيره من الأقاليم الجيومورفولوجية الأخرى . وهناك فئة أخرى من الكتاب قاموا بدراسة وحدات سياسية معينة أو بمعنى آخر لم تكن الحدود الفاصلة للإقليم فى هذه الحالة حدودا طبيعية بل كانت حدودا سياسية قد لا تتمشى مع الاختلاف فى المظاهر

(1) Cressey, G. B. "Asia's lands and peoples" New York 1951, p. 34.

(2) G. M. Lewis, "Changing emphases in the description of the natural environment of the American Great Plains Area". Trans. and Papers. Institute of British Geographers, No 30, 1962 7 - 90.

الجيومورفولوجية للمنطقة . ولكن قسمت هذه الوحدة أو الوحدات السياسية إلى أقاليم جيومورفولوجية متباينة ، ومن بين أقدم هذه الدراسات تلك التى قام بها الأستاذ فينيمان (١) *N. M. Fenneman* فى عام ١٩١٤ عند دراسته للأقاليم «الفيزيوغرافية» فى الولايات المتحدة الأمريكية ، وقد سلك منهج فينيمان كل من ديزى *G. F. Deasy* فى دراسة الأقاليم الجيومورفولوجية لأراضى منشوريا عام ١٩٤٨ ، والأستاذ هاموند *E. H. Hammond* فى دراسة الأقاليم الجيومورفولوجية للولايات المتحدة الأمريكية عام ١٩٥٤ وكذلك والاس (٢) *W. H. Wallace* فى دراسة الأقاليم الجيومورفولوجية لنيوزيلند عام ١٩٥٥ .

ولم يكن الأساس الذى صنفت عليه هذه التقاسيم الجيومورفولوجية واحدا فى كل منها بل اتبع كل باحث أسسا مختلفة عند تصنيفه الأقاليم الجيومورفولوجية وفقا لاختلاف مظاهر سطح الأرض من إقليم إلى آخر ، هذا فضلا عن أنه كان وما زال من الصعب تحديد السمات الجيومورفولوجية ، ومدى تشابه كل الأجزاء المختلفة فى الإقليم الجيومورفولوجى الواحد من جهة ، أو تمييز المناطق الهامشية أو الحدية *Marginal areas* الواقعة بين إقليمين جيومورفولوجيين مختلفين متجاورين من جهة أخرى .

وقد أكد الباحث فينيمان عام ١٩٤١ مثلا ، أن التصنيفات القائمة على أساس الاختلاف فى «التطور الفيزيوغرافي» (٣) تتفق نتائجها عامة مع تلك المبنية على أساس «الاختلافات الطبوغرافية» حيث إن هذه الاختلافات الأخيرة تعد وليدة التطور الفيزيوغرافى الذى تعرضت له مناطق سطح الأرض .

---

(1) Fenneman, N. M. "Pysiographic boundaries within the United States" Ann. Ass. Amer Geog. 1914, -84 - 134.

(2) Wallace, W. H., "New Zealand Landforms" New Zealand Geographer vol. II No. 1 April 1955.

(٣) يقصد فينيمان بتعبير «التطور الفيزيوغرافى» ، أثر كل من التطور الجيولوجي والذبذبات المناخية التي تعرض لها الإقليم في تشكيل مظاهر سطح الأرض من جهة وتكوين الأنواع المختلفة من التربة والغطاءات النباتية الطبيعية من جهة أخري .

وقد اتفقت أسس التقسيم الذى أقترحه ديزى *G. R. Deasy* عام ١٩٤٨ عند دراسته للأقاليم الجيومورفولوجية فى أراضى منشوريا إلى حد كبير مع تلك الأسس التى رجحها فينيمان فى أمريكا من قبل . وقام ديزى بتقسيم الأقاليم الجيومورفولوجية الكبرى إلى أقاليم ثانوية تبعا لاختلاف شكل سطح الأرض ومظهره العام فى تلك الأقاليم المختلفة .

أما الأستاذ هاموند *E. H. Hammond* فقد أوضح أن التصنيفات الجيومورفولوجية تواجه صعوبات عديدة من بينها مشكلة مقياس رسم الخريطة . فإذا وضعت الأقاليم الجيومورفولوجية على خرائط ذات مقياس صغير كان من العسير على الباحث أن يوضح كل التفاصيل التى يشاهدها فى الحقل . وقد رجح هاموند عام ١٩٥٤ ان أهم العناصر التى تشكل سطح الأرض وتميز بين إقليم وآخر هى :

درجة انحدار السطح وأشكاله ومنسوب المنطقة العام بالنسبة لمستوى سطح البحر ودرجة تضرس المنطقة وأخيرا التكوين الصخرى لقشرة الأرض . وفى ضوء هذه العناصر مجتمعة تمكن هاموند من تصنيف الأقاليم الجيومورفولوجية التالية فى أمريكا الشمالية :

١ – السهول المسطحة الشكل .
٢ – السهول غير المنتظمة السطح .
٣ – سهول مسطحة يميزها بعض التلال المنعزلة .
٤ – مناطق هضبية متقطعة .
٥ – منطاق تلالية .
٦ – مناطق جبلية منخفضة .
٧ – مناطق جبلية مرتفعة .
٨ – قمم جليدية .

وقد اتبع الباحث والاس *W. H. Wallace* عند تقسيمه الأقاليم الجيومورفولوجية لنيوزيلند عام ١٩٥٥ نفس الأسس التى بنى عليها الأستاذ

هاموند تقسيمه السابق من قبل ، مع اضافة بعض التعديلات الثانوية إليها . فقد أوضح ولاس أن أهم ما يميز الأقاليم الجيومورفولوجية المختلفة لسطح الأرض هى العناصر العامة التالية:

(أ) الارتفاع أو منسوب السطح المحلى .
(ب) درجة انحدار السطح وأشكاله المختلفة .
(جـ) شكل سطح الأرض ومظهره العام .

يتضح من هذا العرض أن الأقاليم الجيومورفولوجية فى المنطقة الواحدة قد تختلف فى أنواعها وصفاتها وفقا للأسس المختلفة التى بنيت عليها تلك التقاسيم . وقد حاول بعض الكتاب ومن بينهم أستاذى العالم داڤيد لينتن *D. L. Linton* عام ١٩٥١ أن يضعوا أسساً ثابتة لكى تستخدم فى تقسيم الأقاليم الجيومورفولوجية المختلفة وتمييزها فى العالم . كما حاول البعض الآخر الاستعانة بالدراسات العملية والكمية فى استنباط المعلومات الخاصة عن الظواهر الجيومورفولوجية لسطح الأرض ، ثم تصنيف هذه الظاهرات وجمعها ووضعها فى أقاليم جيومورفولوجية متباينة قائمة على نتائج الدراسات الكمية . ومن بين أهم الأبحاث العلمية التى ظهرت فى هذا المجال تلك التى تقوم بها هيئة البحوث العلمية والهندسية التابعة لقوات الولايات المتحدة الأمريكية العسكرية .

ومن دراسة الأقاليم الجيومورفولوجية السابقة ، يتضح أن أسس هذه الدراسة تعتمد على المنهج الدافيزى ، والوصف الحقلى لظواهر سطح الأرض فى منطقة ما ، مع إبراز الصورة الجيومورفولوجية العامة لسطح الأرض فى هذه المنطقة . ولما كانت الدراسة الدافيزية قد أولت اهتمامها بدراسة التكوين الجيولوجى وبنية الطبقات التى تتألف منها ظواهر سطح الأرض ، فقد ظهرت فى ألمانيا وفرنسا ، مدرسة جيومورفولوجية جديدة ، حاولت أن تطور آراء وليم موريس دافيز ، وأضافت إلى مقترحاته وآرائه الكثير من الأفكار لاستكمال ما يشوبها من نقص ، وعلى ذلك اهتمت هذه المدرسة بايضاح أهمية المناخ

وعناصره المختلفة ، وما ينتج عنها من فعل عوامل تعرية مميزة ، وأثر كل ذلك فى تشكيل أقاليم سطح الأرض بظواهر تضاريسية معينة . وقد تبين لأصحاب هذه المدرسة الجديدة بأنه يكاد يكون لكل إقليم مناخى على سطح الأرض ظواهر جيومورفولوجية خاصة يشيع تكوينها وانتشارها فى هذا الإقليم المناخى . وتتمثل أصدق تمثيل بالقسم الأوسط من هذا الإقليم أو بمعنى آخر فى قلب الإقليم *Core area* . وأوضحت هذه المدرسة بأن الظواهر الجيومورفولوجية ليست كلها من نتاج عامل اختلاف التكوين الجيولوجى لتكويناتها فقط ، بل أن معظمها يعد أساسا من نتاج فعل عوامل التعرية السائدة لمدة طويلة من الزمن ، ومن ثم استطاع هؤلاء العلماء تصنيف سطح الأرض إلى أقاليم مورفومناخية *Morphoclimatic Regions* .

وتواجه هذه الدراسة الأخيرة مشكلة هامة تتلخص فى كيفية تحديد أبعاد الإقليم المورفومناخى ، فهل تتفق أبعاد هذا الإقليم مع أبعاد الإقليم المناخى ؟ وإلى أى مدى تتغير أبعاد الإقليم المورفومناخى من فترة زمنية إلى أخرى ؟

(٢) المنهج الكمي Quantitative Approach

تواجه الدراسة الجيومورفولوجية الوصفية الكمية نقدا شديدا فى الوقت الحاضر من قبل بعض الباحثين والكتاب ، الذين اهتموا بدراسة العوامل الجغرافية دراسة تفصيلية وذلك قبل الإشارة إلى أية نتائج خاصة تتعلق بأصل الظاهرات الجيومورفولوجية المختلفة وتكوينها . وتبعا لآراء هذه المجموعة الأخيرة من الكتاب فإنه يصبح من الصعب تتبع أصل ظاهرة جيومورفولوجية ما أو تحديد عمرها طالما أن العوامل الجغرافية المختلفة التى أدت إلى تكوينها لم تدرس بعد دراسة علمية دقيقة وجادة . وتتأثر ماهية الدراسة الجيومورفولوجية الوصفية بمدى خبرة الباحث نفسه عند القيام بالعمل الحقلى . كما توصف مزايا بعض من الظاهرات الجيومورفولوجية وتحديد نشأتها وتطورها وفقا لما يراه الباحث الذى قد لا يتفق مع الحقيقة الفعلية .

ومن ثم فقد اعترض بعض الباحثين على اتباع مناهج الدراسة الوصفية ، ورجحوا بأن هذا الوصف يجب أن لا يكون قاصراً على خبرة الباحث فى الحقل فقط ، بل ينبغى أن تعتمد نتائجه على ما تقدمه الدراسة الكمية من بيانات دقيقة . وتعرف هذه الدراسة باسم الدراسة الكمية الاحصائية *Statistical or Morphometric analysis* .

وعند الاعتماد على مثل هذه المناهج الكمية الجديدة فى الدراسة الجيومورفولوجية تصبح النتائج الدراسية كمية *Quantitative* موضوعية وليست دراسات وصفية *Qualitative* كيفية ذاتية .

وقد أوضح الأستاذ ديورى *Dury, G. H.* عام ١٩٥١ أن تعبير «التحليل الكمي» *Morphometric analysis* هو تعبير شامل جامع يدخل ضمن معناه عدة دراسات حسابية أخري من بينها :

أ - دراسة العناصر التى تؤثر فى تضاريس سطح الأرض *Geometric analysis* .

ب - دراسة العلاقة بين كل من مساحة المنطقة ومنسوبها بالنسبة لسطح البحر *Arithmetric* .

جـ - دراسة أنواع ظاهرات سطح الأرض واعداد كل مجموعة منها ومدى أبعادها بالنسبة للمساحة الكلية للمنطقة التى تتمثل فيها تلك الظواهر *Volumetric analysis* .

د - دراسة انحدارات سطح الأرض *Clinometric analysis* .

وأوضح ديورى أنه عند اتباع المنهج الكمى فى الدراسة الجيومورفولوجية قد يستنبط الباحث معلوماته من أى من هذه الدراسات المختلفة أو كلها معا .

ومن بين أهم الأبحاث الجيومورفولوجية الكمية التى أجريت فى الآونة الأخيرة هى تلك التى تقوم بنشرها هيئة البحوث العلمية والهندسية التابعة

لقوات الولايات المتحدة العسكرية [١] . وقد اختصت هذه الأبحاث بدراسات تحليلية لعناصر سطح الأرض خاصة فى المناطق الصحراوية لأمريكا الشمالية . ويتزعم هذا المنهج الدراسى فى أمريكا فى الوقت الحاضر الأستاذ استرهلر *A. N. Strahler* الذى يعد من مؤسسى المنهج الكمى الحديث فى علم الجيومورفولوجيا . ومن أظهر مؤيديه فى هذا الميدان كذلك روبرت هورتون *R. H. Horton* الذى ظهرت بداية سلسلة أبحاثه منذ عام ١٩٤١ . أما فى انجلترا فمن بين أشهر مؤيدى المنهج الكمى فى الدراسة الجيومورفولجية هم الأساتذة ديورى *G. H. Dury* وشورلى *R. J. Chorley* وكارسون *M. A. Carson* وكيركبى *M. J. Kirby* .

ومن أنصار المنهج الكمى فى الدراسة الجيومورفولوجية فى ألمانيا شيدجر *A. E. Scheidegger* وجربر *E. K. Gerber* وسترجول *J. R. Sturgul* وفيشر *K. Fischer* .

وقد جاء فى تقارير الدراسات التى قامت بها هيئة البحوث العلمية والهندسية التابعة لقوات الولايات المتحدة العسكرية الاشارة إلى ضرورة تحديد العناصر التضاريسية لسطح الأرض ودراستها دراسة تحليلة كمية واقترح الباحثون عدة معادلات توضح العلاقة المتبادلة بين أثر فعل عوامل التعرية وظواهر سطح الأرض . ومن بين أهم العناصر التضاريسية لسطح الأرض التى أشاروا إليها فى دراساتهم هى :

١ - درجة تضرس سطح الأرض :

ويقصد بذلك العلاقة بين أشكال ظواهر سطح الأرض ومدى امتدادها وأبعادها بالنسبة للمساحة الكلية للإقليم . وهذه يمكن الحصول عليها بحساب

---

(1) U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station - CORPS PF ENGINEERS Vicksburg Mississippi (1962)

مدى تقارب أو تباعد السلاسل الجبلية والخوانق النهرية عن بعضها البعض من الخريطة الكنتورية . وبالتالى قد يقسم الباحثون سطح المنطقة من حيث درجة التضرس إلى :

(أ) منطقة شديدة التضرس *Coarse grain* تتقارب فيها السلاسل الجبلية والخوانق النهرية .

(ب) منطقة بسيطة التضرس *Fine grain* تتباعد فيها السلاسل الجبلية والخوانق النهرية .

٢ - **السطح المحلي** *Local relief* :

ويقصد به حساب كل من :

(أ) متوسط منسوب أجزاء المنطقة بالنسبة لمستوى سطح البحر .

(ب) متوسط البعد الرأسى بين أعلى منسوب للمناطق الجبلية المرتفعة وأقل منسوب للمناطق السهلية المنخفضة فى الإقليم بالنسبة لمستوى سطح البحر .

وتؤخذ هذه المتوسطات بتقسيم الخريطة التى تظهر إلى مربعات متساوية قد تبلغ مساحة كل منها ١ كم^{٢} ثم تحديد منسوب أعلى نقطة وأقل نقطة فى كل المربع وبعدها يمكن حساب متوسطات المناسيب وسطح المنطقة المحلى .

٣ - **معدل ارتفاع المنطقة** *Elevation - relief ratio* :

وتدل على نسبة مساحة أجزاء كل من المناطق الجبلية المرتفعة أو المناطق السهلية المنخفضة إلى المساحة الكلية للإقليم وذلك بحسابها من الخريطة الكنتورية وباستخدام البلانيمتر . ويمكن معرفة معدل ارتفاع المنطقة كذلك عند تحديد متوسط ارتفاع المنطقة ، وخصائص سطحها المحلى كما يتضح فى المعادلة الآتية :

$$\text{م س} = \frac{\text{م} - \text{ق}}{\text{س}}$$

حيث إن :

م س = معدل ارتفاع المنطقة .

م = متوسط ارتفاع المنطقة .

ق = أقل منسوب فى المنطقة .

ى = السطح المحلى (البعد الرأسى بين كل من أعلى وأقل منسوب فى المنطقة)

٤ - متوسط انحدار سطح المنطقة *Average Slope* :

ويقصد به الانحدار المتوسط لسطح المنطقة محسوبا بالنسبة للمستوى الأفقى لسطح الأرض . ويمكن ايجاد هذا المتوسط بطريقة حسابية بسيطة وذلك بإنشاء عدة خطوط قطاعات فى اتجاهات متعددة على الخريطة ، ثم يحسب عدد خطوط الكنتور التى تمر بهذه الخطوط ، وعلى ذلك يمكن ايجاد متوسط انحدار السطح باستخدام معادلة وينتوراث *Wentworth Equation* وهى :

$$\text{ظا ح} = \frac{\text{ف} \times \text{ع}}{\text{٣٣٦١ (رقم ثابت)}}$$

حيث إن :

ظا ح = ظل زواية الانحدار

ف = الفاصل الرأسى بين خطوط الكنتور محسوبا بالأقدام

ع = عدد خطوط الكنتور التى تمر بخطوط القطاعات فى كل ميل واحد

ويمكن التعرف على الخصائص المساحية والتضاريسية والشكلية للأحواض النهرية كميا من خلال دراسة تضاريس الحوض النهرى (الفرق بين أعلى نقطة وأقل نقطة فى الحوض) وبعض المعاملات المورفومترية الأخرى . ومن بين أهم ما يشير إلى الخصائص التضاريسية للأحواض النهرية ما يلى :

أ - **معدل التضرس :** *Relief Ratio*

$$\text{ويساوى هذا المعدل} = \frac{\text{تضاريس الحوض (الفرق بين أعلى نقطة وأقل نقطة فى الحوض)م}}{\text{الطول الحوضى (م)}}$$

ب - **التضاريس النسبية :** *Relative Relief*

$$\text{وهذه تساوى} = \frac{\text{تضاريس الحوض (م)}}{\text{محيط الحوض (كم)}} \times ١٠٠$$

جـ - **التكامل الهيبسومتري :** *Hyposometrical Integral*

$$\text{وهذه تحسب على أساس} = \frac{\text{المساحة الحوضية (كم}^{٢}\text{)}}{\text{تضاريس الحوض(م)}}$$

د - **قيمة الوعورة :** *Ruggedness Value*

$$\text{وهذه تحسب على أساس} = \frac{\text{التضاريس الحوضية} \times \text{الكثافة التصريفية (كم/ كم}^{٢}\text{)}}{١٠٠٠}$$

وتسهم نتائج هذه المعادلات السابقة فى توظيف المعلومات والبيانات الكمية لخدمة الوصف الجغرافى الاستدلالى الكمى . ومن ثم يمكن للباحث فى هذه الحالة أن يحدد بشئ من الدقة الخصائص التضاريسية التى تميز كل من الأحواض النهرية المختلفة . ولا ينبغى أن تتضمن الدراسة الجيومورفولوجية تلك البيانات الكمية الحسابية فقط بل على الدراس أن يوضح أثر اختلاف التكوين الصخرى وتنوع البنية الجيولوجية والتطور الجيومورفولوجى للحوض النهرى واختلاف الظروف المناخية في كل جزء من أجزاء الحوض النهرى ، وحدوث عمليات الأسر النهرى ، وأثر كل ذلك فى اختلاف القيم الكمية المميزة للخصائص التضاريسية للحوض النهرى . وتبغى الإشارة كذلك بأن

الباحث يحصل على كل هذه البيانات الكمية المميزة للخصائص المساحية والشكلية والتضاريسية للأحواض النهرية من القياسات التى يجريها على الخريطة الخاصة بالمنطقة . أو بمعنى آخر فإن هذه البيانات الكمية ما هى إلا نتاج التحليل الكارتوجرافى الكمى . ولما كانت معلومات الخريطة ـ كما نعلم ـ تختلف كثافتها ودقتها حسب مقياس رسم الخريطة فإن المعلومات والبيانات الكمية التى يستنتجها الباحث ويحصل عليها من الخريطة الكنتورية أو الطبوغرافية يشوبها كذلك التعميم ، وتتضمن نتائجها الكثير من المعلومات النسبية وليست كل بياناتها مؤكدة .

واستخدم بعض الباحثين الأساليب الكمية فى تحليل الشكل العام للحوض النهرى . فبدلا من وصف الحوض النهرى بأنه مستطيل أو مستدير الشكل مثلاً فإنه يمكن تحديد قيمة هذه الإستطالة أو الإستدارة باستخدام معاملات مورفومترية خاصة . ويمكن أن نوجز أهم المعلومات التى ترمز إلى الخصائص المساحية والشكلية للأحواض النهرية فى الآتى :

أ - مساحة الأحواض النهرية : *Basin area*

وهذه يمكن حسابها من الخريطة الكنتورية أو الطبوغرافية التى تظهر أبعاد حوض النهر . وتقاس المساحة باستخدام البلانيميتر أو بتحديد متوسط طول الحوض النهرى ومتوسط عرضه ، وينتج عن حاصل ضربهما متوسط مساحة الحوض (تبعا لمقياس رسم الخريطة) .

كما يمكن حساب المساحة الكلية للحوض النهرى ومساحة الأحواض النهرية فى كل رتبة مثل أحواض المرتبة الأولى والثانية وهكذا ..

ب - معدل الإستطالة :

قد يظهر الشكل العام لبعض الأحواض النهرية بأشكال هندسية تقترب من شكل المستطيل أو الدائرة أو المثلث . وقد ترتبط هذه الأشكال الهندسية للأحواض النهرية بمدى اختلاف البنية الجيولوجية والتكوين الصخرى

وبمراحل التطور الجيومورفولوجي لحوض النهر ومدى تأثره بعمليات الأسر النهرى أو نتيجة لإختلاف الظروف المناخية بين أقسام الحوض النهرى المختلفة . ويحسب معدل الاستطالة *Elongation Ratio* على أساس قسمة طول قطر الدائرة التى تكافئ مساحتها مساحة حوض النهر على أقصى طول للحوض بالكيلومتر .

$$\text{نسبة الإستطالة} = \frac{\text{طول قطر الدائرة التى تكافئ مساحتها مساحة حوض النهر}}{\text{أقصى طول للحوض}}$$

ومن ثم ترتفع نسبة الاستطـالة فى الأحواض ذات الامتداد الطولى فى حين تقل قيم هذه النسبة كلما ابتعد شكل حوض النهر عن الشكل المستطيل [١] .

جـ - معدل الاستدارة :

أما إذا اقترب الشكل العام للحوض النهرى من شكل الدائرة ، فيمكن فى هذه الحالة حساب ما يعرف باسم نسبة استدارة الحوض *Circularity* وتحسب هذه النسبة وفقاً للمعادلة التالية :

$$\text{استدارة الحوض Circulation Ratio} = \frac{\text{مساحة الحوض}}{\text{مساحة الدائرة التى يبلغ طول محيطها محيط الحوض}}$$

وإذا إختلف الشكل العام للحوض النهرى عن كل من شكل المستطيل أو

1-a- Schumm, S., "Evolution of drainage system and slopes in Badlands at Parth Amboy", New Jersey, Geol. Soc. Amer. Bull. Vol 67 (1956) p. 597 - 464 .

(ب) حسن سلامة «الخصائص الشكلية ... ودلالاتها الجيومورفولوجية» ، مجلة كلية الآداب ـ جامعة الكويت العدد ٤٣ (١٩٨٢) ص ٦ .

شكل الدائرة فيمكن فى هذه الحالة حساب ما يعرف بإسم معامل شكل الحوض النهرى وذلك وفقاً للمعادلة الآتية :

معامل شكل الحوض = مساحة الحوض / مربع أقصى طول للحوض

د - معامل شكل الحوض : *Form Factor*

وهذا يساوى = مساحة الحوض (كم^2) / مربع طول الحوض (كم^2)

هـ - معامل الاندماج : *Compactness Coefficient*

وهذا يساوى = محيط الحوض (كم) / محيط الدائرة التى تكافئ مساحتها نفس مساحة الحوض (كم)

و - نسبة الطول إلي العرض الحو ضي (١) : *Length / Width Ratio*

وهذه تحسب على أساس = الطول الحوضى (كم) / العرض الحوضى (كم)

كما يتضمن المنهج الكمى فى الدراسة الجيومورفولوجية دراسة موضوعين أساسيين هما :

١- دراسة القيم المتغيرة لعنا صر عوامل التعرية في الوقت الحا ضر :

وتتخلص هذه الدراسة بوجه خاص فى حساب سرعة كل عامل من عوامل التعرية ، وذلك مثل حساب سرعة المياه الجوفية وانسياباتها الهيدرولوكية فى الصخور والمفتتات الإرسابية ، وسرعة المياه السطحية فى مجارى الأنهار

---

(١) للدراسة التفصيلية راجع : أ. د. حسن أبو العينين ،حوض وادى دبا ...، جامعة الكويت ـ دائرة الأبحاث ـ الكويت (١٩٩٠) ص ٦٣ – ١٠٠ .

المختلفة ، وحساب سرعة الرياح ، وسرعة تحرك الجليد ثم تحديد أثر كل من هذه العوامل فى مدى قدرة كل منها كذلك على نقل المفتتات الإرسابية المختلفة الحجم (سواء أكانت المواد منقولة بالتعلق أو بالجر أو بالاذابة) ، ودراسة كيفية ترسيب كل من هذه المفتتات ، ومقدار الرواسب المتجمعة فى كل حالة . ومن ثم دخل هذا المجال الجغرافى علوم مختلفة مثل الهيدرولوجيا ، والاستاتيكا ، والديناميكا ، والرياضيات ، والكمياء وذلك لحساب سرعة أداء كل عامل من عوامل التعرية المختلفة ، وتقدير امكانياتها على نقل المفتتات الارسابية تبعا لاختلاف حجم تلك المفتتات .

وقد اعتمدت هذه الدراسة على استخدام المعادلات الكمية المعروفة عالميا ، وخاصة معادلات نافير - ستوكس *Navier - Stokes* ورايئولد *Reynold* ، وراندل *Randtl* ، وباتشلور *Batchelor* ، وبروتز *Perutz* ، ودارسى *Darcy* وباجنولد *Bagnols* . وهكذا أصبح من المألوف أن يطلع القارئ فى الكتب الجيومورفولوجية الأجنبية الحديثة على عناوين رئيسة جغرافية ثم يجد أن كل المعلومات الخاصة بتلك الموضوعات الجغرافية قد جرى تفسيرها وتقييمها بإستخدام دراسات كمية بحتة .

وعلى سبيل المثال عند دراسة المياه الجوفية قد يهتم الباحثون بتحديد مسامية التربة *Porosity* ونسبة الفجوات فيها *Voids Ratio* . ومن المعروف أن :

$$\text{نسبة الفجوات (ن)} = \frac{\text{حجم الفجوات}}{\text{حجم المواد الصلبة}} \quad \text{أي} \quad \frac{\text{م}}{(\text{١} - \text{م})}$$

$$\text{وعلى ذلك فإن (ن)} = \frac{\text{م}}{(\text{١} - \text{م})}$$

$$\text{ومنه م} = \text{ن} (\text{١} - \text{م}) = (\text{ن} - \text{ن م})$$

م = (١ + ن) = ن

$$\therefore م = \frac{ن}{١ + ن}$$

وقد أوضح دارسى فى قانونه المشهور *Darcy's Law* على أن سرعة المياه الجوفية فى المواد المنفذة تتناسب طرديا مع الميل الهيدروليكى المسبب لحركة المياه (ابراهيم عبيدو ـ ١٩٧٥ ص ١٨٩) . ويمكن أن نبسط قانون دارسى فى المعادلة الآتية :

$$ع = م \frac{هـ}{ل}$$

حيث إن :

ع = سرعة المياه (بوحدات سرعة)

م = معامل الإنفاذ (بوحدات سرعة)

هـ = الفرق بين منسوب المياه فى أنبوبتين موضوعتين عند نقطتين ثابتتين على طول مسار المياه (بوحدة طولية)

ل = المسافة الطولية فى اتجاه حركة المياه بين هاتين النقطتين (بوحدة طولية)

وعلى ذلك لايجاد مقدار تصريف المياه المنفذة فى الثانية خلال مقطع معين من الصخور ، بحيث يكون هذا المقطع عموديا على اتجاه انسياب أو سريان المياه ، ، فيمكن ذلك بضرب مساحة هذا المقطع (س) فى سرعة انسياب المياه .

مقدار تصريف المياه فى وحدة زمنية (ص) = ع × س

وبالتعويض عن ع فإن ص = $م \frac{هـ}{ل} \times س$

وأوضح دارسى باستخدام المعادلات الكمية كذلك بأن عملية انسياب المياه أو سريانها تحت السطح (الانحدارات الهيدروليكية) انما تتأثر أساسا بفعل الجاذبية الأرضية ، وتأثير القوى الهيدروليكية الناتجة عن قوى الشد أو الضغط واتجاه ميل الطبقات.

وتجدر الإشارة إلى أن هناك عشرات القوانين ومئات المعادلات الكمية الخاصة بدراسة التصريف المائى فى أحواض الأنهار المختلفة وحساب سرعة جريان المياه فى هذه المجارى ، ومعادلات أخرى لحساب سرعة الجليد تبعا لاختلاف شكل الثلاجات ومورفولوجيتها العامة ، ودرجة حرارة الجليد والهواء الملامس لسطحه ، وحساب سرعة الرياح ، ومدى قدرتها على نقل المفتتات المختلفة الحجم ، وسرعة المواد الإرسابية التى تتحرك على طول المنحدرات الجبلية بفعل الجاذبية وتشبعها بالمياه ، وأثر ذلك على شكل تلك المنحدارت

وبالنسبة لفعل البحر فقد اهتم العلماء كذلك بحساب فعل تلاطم الأمواج فى صخور الشاطئ وقدرتها على النحت والنقل والارساب وأثر ذلك فى مورفولوجية السواحل .

وعلى سبيل المثال أوضح العلماء بأن سرعة الأمواج تتأثر بمدى عمق مياه البحر ، وطول الموجة (١) . فسرعة الأمواج فى المياه العميقة (أى عمق المياه أكبر من طول الموجة) يساوى :

$$ع^{٢} = \frac{جـ\ ل}{٢\ ط}$$

حيث إن :

ع = سرعة الموجة فى المياه العميقة

ل = طول الموجة

---

(١) حسن أبو العينين «دراسات فى جغرافية البحار والمحيطات» الطبعة الأولى - بيروت ١٩٦٧ - الطبعة الثامنة (١٩٨٩) ص ٢٣٩ - ٢٥٢ .

جـ = عجلة الجاذبية الأرضية (٣٢ قدم / ثانية ٢)

ط = النسبة التقريبية ٣,١٤

وحيث إن طول الموجة (ل) = السرعة (ع) × زمن دورة الموجة (ن)

بالتعويض فى المعادلة السابقة ينتج أن :

$$\text{ع} = \frac{\text{جـ} \times \text{ن}}{\text{٢ ط}}$$

وبالتعويض عن كل من قيمة جـ ، ط ينتج أن :

$$\text{ع} = \frac{\text{٣٢} \times \text{ن}}{\text{٢} \times \text{٣,١٤}}$$

∴ ع = ٥,١٢ قدم / ثانية أى حوالى ١,٥٦ م / ثانية

وفى حالة المياه المتوسطة العمق مثلا نلاحظ أن سرعة الموجة تتأثر وفقاً لمدى تغير عمق المياه ، وعلى ذلك يمكن حساب سرعة الموجة فى هذه الحالة تبعا للمعادلة الآتية :

$$\left[\frac{\text{جـ}}{\left(\frac{\text{٢ ط}}{\text{ل}}\right)} \text{طا ز قيمة المقدار} \left(\frac{\text{٢ ط}}{\text{ل}}\right) \text{ف} \right]^{\frac{١}{٢}}$$

حيث إن :

جـ = عجلة الجاذبية الأرضية ٣٢ قدم / ثانية^{٢}

$\frac{\text{٢ ط}}{\text{ل}}$ = عدد دورات الموجة

$$= \frac{\text{٢ (النسبة التقريبية ٣,١٤)}}{\text{طول الموجة}}$$

ف = عمق المياه

يتضح من هذا العرض السابق أنه على الرغم من الأهمية المورفومترية لدراسة عوامل التعرية المختلفة ، وحساب سرعتها ، وقدرتها على عمليات النحت والنقل والإرساب ، إلا أنها فى الواقع تبعد إلى حد ما عن روح الفكر الجغرافى المألوف *The Spirt of Geographical thought* . فنلاحظ أن كل المعادلات والقوانين التى رجحها الباحثون لحساب فعل عنصر ما ، أنها وضعت جميعاً على أساس مدلولات مختارة ، لايضاح علاقات تبين متغيرات معينة . وعلى ذلك قد تختلف تلك المدلولات وتلك المتغيرات من باحث إلى آخر . ومن ثم تعددت المعادلات الفرضية الكمية بالنسبة لحساب عنصر ما من فعل عوامل التعرية وتقييمه ، وليكن مثلا حساب سرعة مياه مجرى النهر . فنجد فى هذه الحالة عدة معادلات استخدم كل منها مدلولات مختلفة ، ذات قيم متغيرة ، فبعضها اهتم أساسا باختلاف حجم المياه فى المجرى وعمق المجرى النهرى ، فى حين اهتم بعضها الآخر بحساب انحدار المجرى النهرى وعمقه والرواسب الممثلة فيه وهكذا .

ومن الملاحظات المهمة التى تختص بكل الدراسة المورفومترية السابقة هى أن هذه الدراسة تختص بدراسة فعل عوامل التعرية فى الوقت الحالى ، أى لابد أن تستقى بياناتها من معلومات مستمدة من الظروف الراهنة فعلا . ومن ثم من الصعب معرفة ما حدث لهذه العوامل وظواهرها الجيومورفولوجية في الماضى . فالدراسة المورفومترية ليس بها مجال للنسبية أو التخمين . وعلى ذلك لابد للباحث إذن من العودة مرة أخرى إلى أسلوب الدراسة الحقلية واتباع المنهج الوصفى الدافيزى بحذر ، لكى يستقى من الأدلة الحقلية ما يمكن أن يتصوره عن التطور الجيومورفولوجى لظواهر سطح الأرض منذ بداية ميلادها إلى المرحلة التى تظهر بها اليوم على سطح الأرض

٢ - دراسة عنا صر ظواهر سطح الأرض الحالية ومحاولة إيجاد علاقات مورفومترية فيما بينها :

اهتمت هذه الدراسة الكمية بإيجاد العلاقة المتبادلة بين أشكال منحدرات

سطح الأرض ودرجة الانحدار ، وتصنيف سطح الأرض إلى مجموعات مختلفة بحسب الاختلاف فى درجة الانحدار *Clinometric analysis* ، وبدراسة درجة تضرس سطح الأرض تبعا لتقطعه بالأودية النهرية العميقة أو بالجبال العالية *Geometric analysis* . ودراسة نسبة الأرض المضرسة مثلا إلى المساحة الكلية للإقليم *Volumetric analysis* .

وقد نجحت هذه الأبحاث الكمية الأخيرة فى دراسة مورفولوجية التصريف النهرى . ووفقت فى ايجاد العلاقة المتبادلة بين رتب أو مراتب المجارى النهرية *Stream orders* ونسبة التشعب (فى المجارى النهرية) *Bifurcation ratio* ، والعلاقات المتبادلة بين متوسط طول المجارى النهرية *Stream lenght* ومساحة الأحواض النهرية *Basin areas* وادخال ما يعرف باسم قانون النمو النسبى المقارن *Law of allometric growth* فى الدراسة الجيومورفولوجية وذلك بحساب معدل النمو أو التطور فى أجزاء الحوض النهرى على طول الفترة الزمنية . هذا إلى جانب حساب كثافة التصريف النهرى *Drainage density* وعلاقة ذلك بدرجة تضرس المنطقة . وتعتمد هذه الدراسة على بعض البيانات المورفومترية الحقلية والمعلومات الأخرى التى يمكن استنتاجها من الخرائط الكنتورية التفصيلية ، وباستخدام الرسوم البيانية واللوغاريتمية .

وعلى الرغم من الأهمية الجيومورفولوجية لهذا النوع من الدراسة إلا أنه يلاحظ بأنها تختص بدراسة عناصر سطح الأرض فى الوقت الحاضر ، وحساب العلاقات المتبادلة بينها فى صورتها الراهنة . فلا يمكن مثلا حساب رتب أو مراتب المجارى النهرية *Orders* لحوض نهر المسيسبى خلال الزمن الجيولوجى الثالث ، وذلك لسبب بسيط هو أن مجارى هذا النهر خلال تلك الفترة القديمة لا يمكن معرفتها وتوزيع أبعادها وشكلها كمياً وإنما قد تحصل على بعض المعلومات فى هذا الشأن عن طريق دراسة «التطور» *Evolution*

وباتباع المنهج الجيومورفولوجي الدافيزى الكيفى .

وقد واجه المنهج الكمى فى الدراسة الجيومورفولوجية نقداً شديداً خاصة فى كتابات الباحث الانجليزى كلارك (١) *J.I. Clarke* عام ١٩٥٨ ، ويتساءل هذا الباحث فى كتاباته عن العناصر الأساسية التى تقوم عليها الدراسة الحسابية ... ويجيب نفسه على ذلك بقوله هذه العناصر تتضمن :

(أ) الخريطة الكنتورية للمنطقة .

(ب) تعيين مناسيب الأراضى المختلفة لسطح الأرض وتحديد اتجاه الانحدار المحلى ودرجاته .

(جـ) استخدام القوانين والمعادلات الكمية .

ويضيف كلارك أن كلا من هذه العناصر لا يمكن أن تمد الدراسات الجيومورفولوجية ببيانات صحيحة تماما ولا يستبعد أن يشوبها أى تعميم وذلك لأن المعلومات التى توضحها الخريطة الكنتورية تختلف فى كثافتها تبعا لاختلاف مقياس رسم الخريطة ، كما تختلف أشكال الخرائط التوضيحية حسب المساقط التى استخدمت فى انشائها . ومن الصعب كذلك تحديد المنسوب الحقيقى لكل من المواقع التى تهم الباحث على الخريطة ، بالنسبة لمستوى سطح البحر ، وكذلك نفس الحال بالنسبة لتعيين درجة الانحدار المحلى واتجاهاته . أما القوانين الكمية فهى الأخرى عرضة للتعديل والتغيير حيث إنها وضعت طبقا لدراسات معينة فى أقاليم خاصة ، تختلف صفاتها وظواهرها الجيومورفولوجية عن أقاليم أخرى لم تدرس بعد . هذا فضلا عن أن معظم المعادلات الكمية التى رجحت من قبل الباحثين لا يشتمل مدلولها على أثر فعل كل العوامل الجغرافية التى تدخل فى تشكيل ظاهرات سطح الأرض .

---

(1) Clarke J. LI. and Orrell K, "An assessment of some morphometric methods" Dept. Geog. Univ. Durham, 1958.

ومن الجدير بالذكر أن نشير كذلك إلى أن هناك فئة أخرى من الباحثين رجحوا بأنه ينبغي على الباحث أن يفيد في تحليلاته بقدر ما يمكنه كل من المنهجين الكيفي والكمي ، وذلك لأن الخلفية العلمية للجغرافي ليست بالضرورة خلفية كمية ، كما أن الباحث الجغرافي يكتب للقارئ العادي وهذا الأخير لا يلزم أن يجيد معرفة قوانين الرياضيات أو الإحصاء المعقدة . ولهذا فقد يستخدم الباحث ما قد يطلق عليه اسم «وصف الباحث أو الوصف الأولي *The primary or Investigator's description* ، وفي هذا العرض يجوز للباحث أن يستخدم الطرائق الكمية والحسابية عند دراسته لعوامل التعرية المختلفة ، ولكن ينبغي أن يختم الجغرافي نتائج أبحاثه بوصف سهل مبسط بحيث يمكن أن يستوعبه القارئ العادي . هذا الوصف الأخير قد يطلق عليه اسم «وصف القارئ» *The reader's description* ، ويتزعم هؤلاء الفئة من الباحثين الأستاذ الأمريكي أدوين هاموند *Edwin H. Hammond, 1957* (١) .

أساليب البحث في الجيومورفولوجيا المعاصرة واتجاهاتها

(الجيومورفولوجيا الاستدلالية الكمية)

يرى شورلي *Chorley, 1966* ، ويتفق معه الكثيرون ، بأن الأسلوب العلمي الذي ينبغي أن يتبع في الدراسات الجيومورفولوجية هو الأسلوب الاستدلالي الكمي . فبينما كانت قاعدة البيانات *Data* في الجيومورفولوجيا الدافيزية أساسها الملاحظات الحقلية الكيفية *Qualitative field Observations* ونتائج التحليل الكارتوجرافي الذاتي (غير الموضوعي) *Subjective map-analysis* ، فإن الجيومورفولوجيا المعاصرة تستمد معلوماتها وبياناتها من أربعة مصادر رئيسة (شكل٢أ،ب) تتمثل في الملاحظات الحقلية والفحص المعملي والعمل المكتبي والعمل النظري .

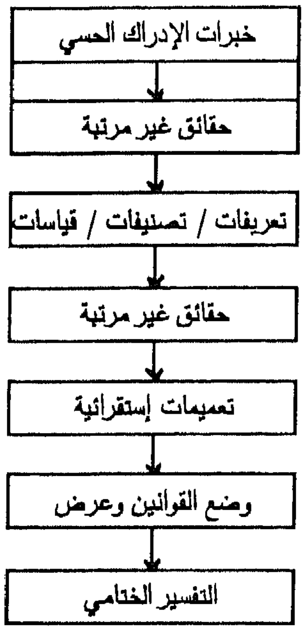
وفيما يلي تقييم كل من هذه المصادر واتجاهاتها .

---

(1) Hammond, E. H., "On the place, nature, and methods of description in the geography of landform". Tech. Report No. 1 Univ. Wisconsin, 1957.

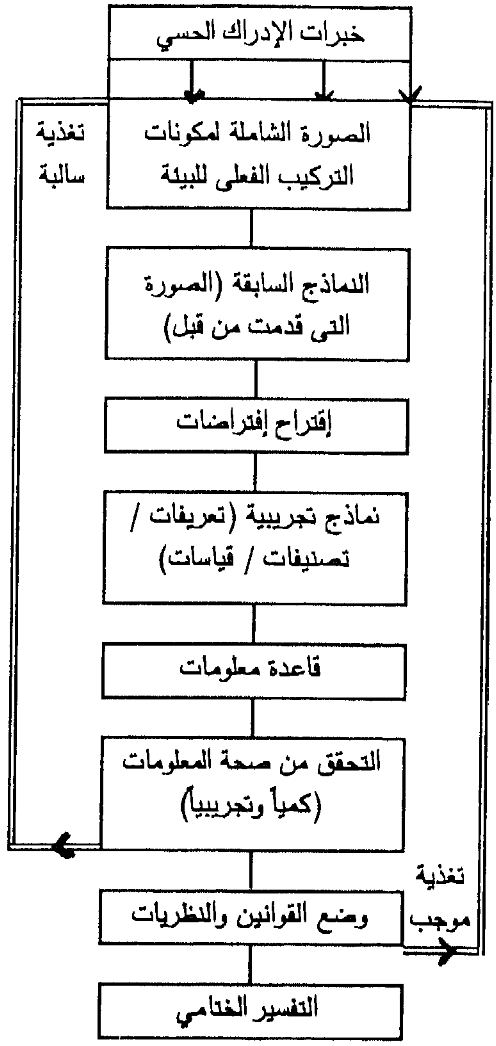
شكل (٢أ)

مراحل التفسير العلمي



مراحل التفسير الإستقرائي

Inductive Explanation



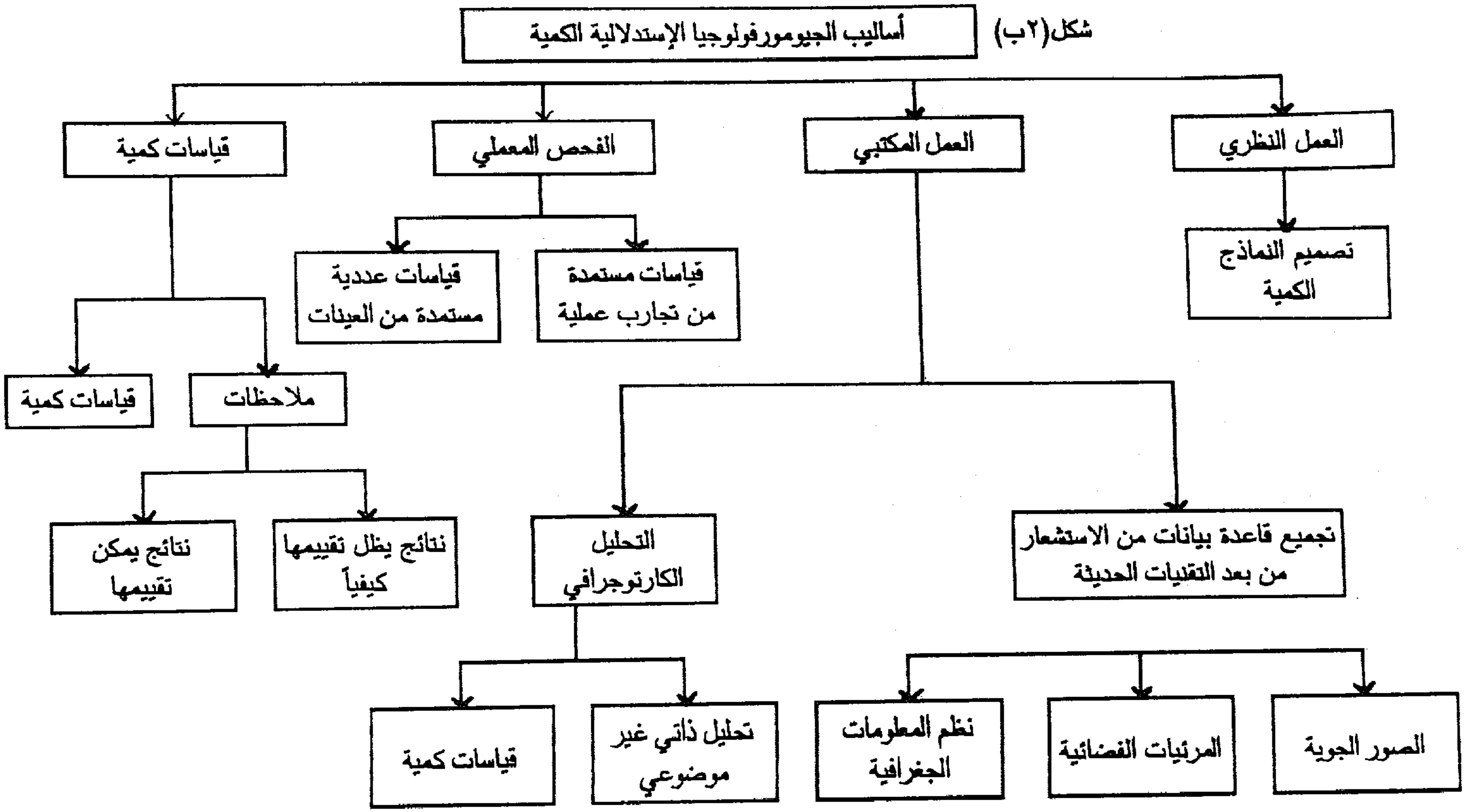
مراحل التفسير الإستدلالي

(الإستنتاجي)

Deductive Explanation

(1) Harvey, A (1981) Goudie A. (1981) عن هارفى ، وجودى

شكل(٢ب)



المصدر حسب دراسات Chorley, 1966, p. 8.

(أولا) الملاحظات الحقلية

Field Observations

الحقل هو ميدان الجيومورفولوجيا الذى يجول فيه الدارسون بحثا عن حلول لما يتناولونه من قضايا ومشكلات تتعلق باشكال سطح الأرض. غير أن ما يحصل عليه الجيومورفولوجى من معلومات فى الحقل تختلف فى كثافتها ومدى دقتها وصحتها حسب خبرة كل باحث والأسلوب العلمى الذى سلكه فى دراسته .ومن ثم فإن أساليب البحث الحقلى تختلف فى الجيومورفولوجيا الدافيزية عن تلك التى تستخدم فى الجيومورفولوجيا المعاصرة .فقد أعتمدت الأولى على ملاحظة الظاهرات التضاريسيه فى الحقل ووصفها حسب الادراك الحسى الذاتى للملاحظ . ومن ثم فإن مفاهيمها تركزت على قواعد الأسلوب الكيفى . وقد يلجأ الباحث فى هذه الحالة إلى رسم خرائط حقلية توضح مواضع الظاهرات التضاريسية وتوزيعها الجغرافى فى منطقه دراسته وتباين أشكالها من موضع إلى آخر ، وقد يقوم بإنشاء رسوم وتخطيطات حقلية تظهر أشكال هذه الظاهرات . غير أنه مما يؤخذ على اتباع مثل هذا الاسلوب أنه يوصف بالعمومية وتشوبه الكثير من التعميمات والاخطاء وذلك حسب قدرات الباحث ومواهبه ورؤيته الذاتية وعدم اعتماده على بيانات كمية ، وعلى طول الوقت الذى استغرقه الباحث فى العمل الحقلى . كما ان الباحثين فى الجيومورفولوجيا الدافيزية كانوا يقومون بدراسة مناطق واسعة المساحة سعياً وراء مشاهدة أكبر عدد من الظاهرات التضاريسية بأشكال مختلفة وتصنيفها إلى وحدات حسب مواقعها فى سلسة التطور التحاتى . وأغفلت الجيومورفولوجيا الدافيزية تقدير فعل كل من عوامل التجوية والتعرية وتقييمه فى الحقل بل كان هدفها دائما هو الاهتمام بأشكال الظاهرات دون العناية بتقييم فعل العوامل التى تشكلها . وتختتم الدراسة الحقلية فى الجيومورفولوجيا الدافيزية بخريطتين أساسيتين هما:

أ - **الخريطة الجيومورفوجينية** *Geomorphogenetic Map* :

وهى التى تصنف الظاهرات التضاريسية فى منطقة الدراسة إلى مجموعات متباينة حسب نشأتها وكيفية تكوينها .

ب - **الخريطة الجيومورفوكرونولوجية** *Geomorphochronological Map*

وهى التى تصنف الظاهرات التضاريسية فى منطقة الدراسة إلى مجموعات متباينة حسب عمرها الزمنى وموقعها بالنسبة للدورة التحاتية . فالسهول التحاتية العالية *Upland erosional plains* فى المنطقة المعنية بالدراسة تمثل نهاية دورة تحاتية قديمة أثرت فى تشكيل المنطقة . وعند مشاهدة أكثر من مجموعة للسهول التحاتية على مناسيب مختلفة وتوقيعها على خرائط يستنتج الباحث فى هذه الحالة بأن منطقة الدراسة قد تعرضت لأكثر من دورة تحاتية *A multicyclic* . أما الظاهرات الإرسابية التى تتمثل فى أرضية المجرى المائى أو تلك التى تشكل دلتاوات الأنهار أو تجمعات الكثبان الرملية فوق سطح الأرض فكلها تمثل ظاهرات حديثة النشأة وأنها فى المراحل الأولى من سلسلة التطور التحاتى .

وقد عنيت الجيومورفولوجيا الدافيزية بدراسة التكوين الصخرى والبنية وأثرهما فى تشكيل الظاهرات التضاريسية التركيبية النشأة *Structuralley controlled feature* وقد يعزى ذلك إلى أن معظم الجيومورفولوجيين فى هذه الفترة (بداية القرن العشرين) كانوا أصلا من الجيولوجيين . فالحافات الصخرية العالية *Scarps* هى ظاهرة تركيبية النشأة تتكون فى الصخور الصلبة ، والمدرجات الصخرية *Structural benches* تتكون فى الصخور اللينة ، غير أن أحداً من أصحاب الجيومورفولوجيا الدافيزية عنى بدراسة أثر فعل عوامل التعرية أو التجوية على تشكيل الحافات الصخرية ومدى تراجعها الخلفى وتقييم تشكيلها بفعل عوامل التعرية المختلفة فى الحقل كمياً . ومن هنا وضعت الجيومورفولوجيا الدافيزية مفاهيم غير دقيقة وان كانت قد استطاعت أن تبهر بعض الباحثين لأكثر من نصف قرن منذ ميلادها عند نهاية القرن

التاسع عشر حتى بداية القرن العشرين . ومن بين هذه المفاهيم أن التكوين الصخرى ونظام بنية الصخور هما من أهم العوامل التى تشكل سطح الأرض وأن «التطور الجيومورفولوجى يتميز بالتعقد أكثر منه بالبساطة» وأن «التباين فى ظاهرات سطح الأرض يعزى إلى موقع كل ظاهره فى سلسلة التطور التحاتى أو الدورة الجيومورفولوجية» .

أما البحث الحقلى فى الدراسة الجيومورفولوجة المعاصرة فإنه يعتمد أساساً على تجميع قاعدة بيانات حقلية مدعومة بالقياسات العددية لأبعاد الظاهرات التضاريسية فى الحقل واظهار أحجامها ودرجات انحدارها ومناسيبها ، وحساب مدى تراجعها الخلفى وتأثرها بفعل العوامل المختلفة *Processes* ، وتقييم فعل كل عامل وأثره فى تشكيل الظاهرات . ومن بين مجالات البحث الحقلى فى هذه الحالة النقاط التالية :

١ - دراسة التكوين الصخرى وبنيته فى الحقل حسب تسجيل الباحث لميل الطبقات (باستخدام الكلينومتر *clinometer*) واتجاهات الشقوق بأنواعها المختلفة وحساب اتساع فتحاتها ومدى تباعد كل منها عن الأخرى ، وتقييم فعل التجوية كمياً *rates of (Goudie A.S, 1981 P. 139 - 153)* *weathering* ويستخدم الجيومورفولوجيون اليوم عدة أجهزة يستعان بها للحصول على بيانات كمية حول مدى تأثير فعل التجوية وعوامل التعرية . ومن بين هذه الأجهزة مقياس فعل التعرية (التفصيلي) *The Micro - erosion meter* وطريقة البرشام الصخرى *Rock tablets* أو بالاستعانة بالوسائل الأركيولوجية ، أو بحساب الفرق فى المنسوب بين مستوى السطح الحالى ومنسوب السطح الأصلى (سواء أكان ذلك بالسالب (فعل التعرية) أو بالموجب (فعل الإرساب) .

٢ - جمع عينات من التربة ومن الرواسب السطحية لمواقع مختلفة باستخدام جهاز بريمه التربة *Soil Auger* وذلك بهدف تحليلها طبيعياً وكميائيا فى المختبر للحصول على بيانات علمية مؤكدة حول خصائص نسيجها

وتركيبها الحجمى . وقياس نسبة الرطوبة فى التربة ونسبة المواد العضوية فيها وتحديد نسبة ثانى أكسيد الكربون فى التربة ومدى التلوث فيها والأس الهيدروجينى لها *pH value* (أبو العينين ١٩٩٥ أ ، ب ، ج) .

٣ - انشاء خرائط منحدارات سطح الأرض *Slope maps* فى ضوء القياسات الفعلية لدرجة انحدار السفوح فى الحقل باستخدام آلة قياس الإنحدار *Abney level* . وفى هذه الحالة يهتم الباحث بدراسة أجزاء محدودة المساحة من سطح الأرض لإجراء تجارب حقلية فيها بغية الوصول إلى نتائج علمية مقبولة حول حساب تعرية السفوح *The rate of erosion* وحساب مقدار التآكل الرأسى فى انحدار السفوح *Vertical lowering* وحساب تراجع الحافات *Scrap-retreat* وسرعة حدوث هذه العمليات بالأجهزة الخاصة التى يعطى كل منها نتائج وحسابات فعلية لمختلفة العمليات الجيومورفولوجية فى الحقل .

ويستعين الباحث عادة برموز متنوع على الخريطة تشير إلى أنماط الانحدارات المختلفة على الطبيعية (فى الحقل) . ومنذ نحو خمسة عشر عاما وضع الجيومورفولوجيون البريطانيون بإشراف الأستاذ دايفيد لينتن *D. L. Linton* رموزا ثابتة تستخدم للتعبير عن انحدارات المختلفة لسطح الأرض فى الأراضى البريطانية حتى يكون من السهل عمل دراسات مقارنة لأنماط هذه الانحدارات وتصنيفها فى الأجزاء المختلفة من الجزر البريطانية ومن بين أهم هذه الرموز :

انحدارات بسيطة التحدب *Convex Slope* ويدل عليها الرمز ▼ ▼ ▼

انحدارات شديدة التحدب *Convex-break of Slope* ويدل عليها الرمز ▼▼▼ (مع خط)

انحدارات بسيطة التقعر *Concave Slope* ويدل عليها الرمز ✗ ✗ ✗

انحدارات شديدة التقعر *Concave-break of Slope* ويدل عليها الرمز ✗ ✗ ✗ (مع خط)

وعند قياس درجات الانحدارات وتعيين اتجاهاتها ، وأخذ قراءات اضافية تبين اتجاه ميل الطبقات أو اتجاه كل من الشقوق والفوالق والصدوع قد

يستعين الباحث باستخدام بعض الأدوات المساحية البسيطة وذلك مثل البوصلة المنشورية وآلة قياس الانحدارات *Abeny Level* حتى تتسم بيانات الحقل بالدقة .

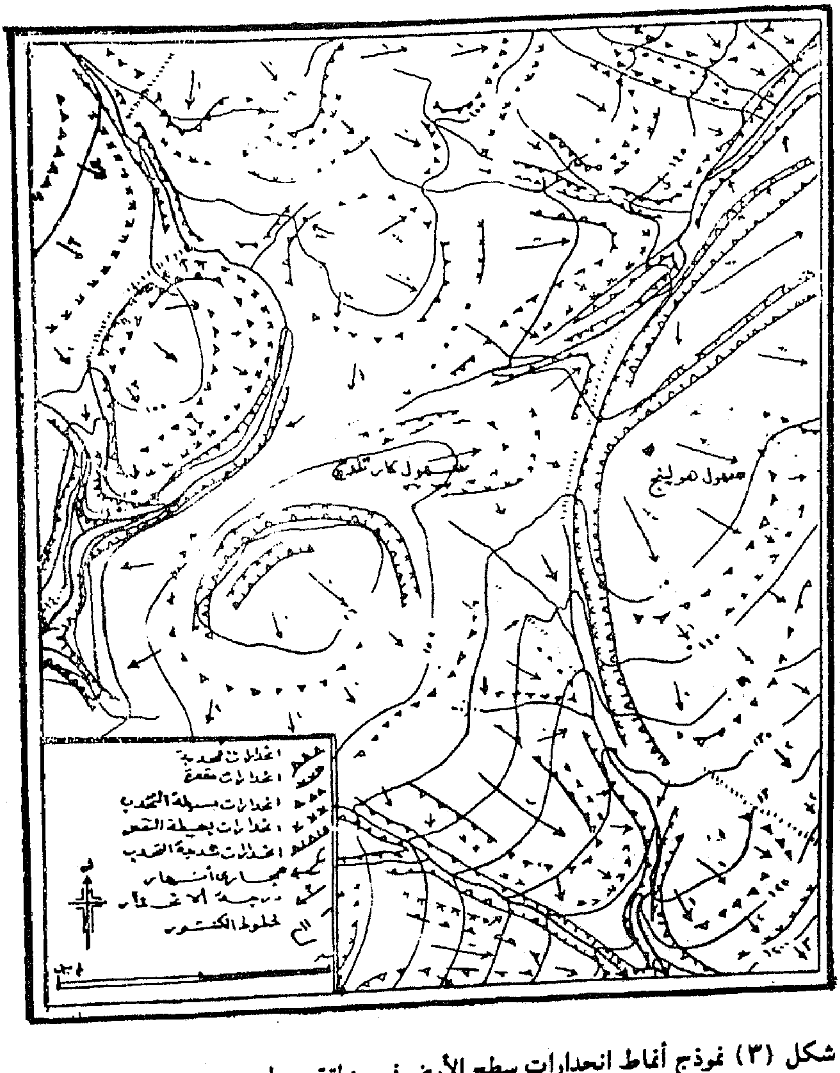
وبانتهاء العمل من خريطة انحدارات سطح الأرض واعدادها فى صورتها النهائية فإنها تعد بمثابة أساس البحث الجيومورفولوجى ، ذلك لأنه من المنتظر أن تصور هذه الخريطة للباحث الخصائص الجيومورفولوجية للمنطقة كما يراها هو فى الحقل حسب خبرته ومدى اتساع أفقه العملى ، كما يستمد الباحث من هذه الخريطة معظم ما يحتاج إليه من معلومات وبيانات كمية كذلك بالاضافة إلى ما يجمعه الباحث ويدونه من مذكرات وبيانات كمية فى دفتر التسجيل الحقلى *field note book* أثناء تأدية البحث الحقلى .

ويوضح شكل (٣) خريطة حقيلة لأنماط انحدارات سطح الأرض فى منطقة سهول درونت الجبلية إلى الغرب من مدينة شفيلد بمقاطعة يروكشير بانجلترا . وتقع هذه المنطقة على السفوح الجنوبية الشرقية لجبال البنين البريطانية وتتفاوت مناسيبها من حوالى ١٠٠٠ إلى ١٧٠٠ قدم فوق سطح البحر .

وتختلف أشكال انحدارات سطح الأرض واتجاهاتها من منطقة إلى أخرى كما يتضح ذلك من دراسة الرموز المختلفة على الخريطة . وتشير هذه الرموز المتنوعة كذلك إلى أنه يمكن تمييز حافات جبلية عالية شديدة الانحدار هائلة الامتداد وتقطعها مجارى نهرية يتبع اتجاهها العام اتجاه خط الظهور(١) ، أما

(١) أمثلة لهذا النوع من الخرائط الجيومورفولوجية يمكن دراستها فى الأبحاث التالية :
a0 Abou-El-Enin., H. S. "The geomorphology of the Moss Valley" Unpublished M. A. Thesis., Univ. of Sheffield, 1962.
b) Abou-El-Enin., H. S. "Some aspects of the drainge evolution.." North Univ. Geographical Jour., N. 5 (1964), 45 - 54 (A).
c) Abou-El-Enin., H. S. "An examination of evolution of surface forms". Unpublished Ph. D. Thesis, Univ. of Sheffield, 1964, (B).

أعالى الجبال فتميز الانحدارات هنا باستواء سطحها على الرغم من شدة انحدار جوانب الجبال فى بعض الأجزاء ، ومن ثم تكونت سهول جبلية عالية *High Upland Plains* وتعد هذه الظاهرة الأخيرة الصورة العامة والأكثر شيوعا التى تشكل جيومورفولوجية مرتفعات جبال البنين البريطانية



شكل (٣) نموذج أنماط انحدارات سطح الأرض في منطقة سهول درونت الجبلية ـ انجلترا ـ (نتائج هذه الخريطة مستمدة من الخريطة الكنتورية والمشاهدات الحقلية)

د - **بعض الأعمال المساحية** *Surveying* :

قد يتطلب الأمر من الباحث أن يقوم ببعض الأعمال المساحية أثناء قيامه بالبحث الحقلى فى المنطقة التى يدرسها وذلك لمعرفة خصائص بعض الظاهرات الجيومورفولوجية الدقيقة الحجم وادراك أنماط انحدارات أسطحها ودرجة هذه الانحدارات واتجاهاتها ، أو لرفع قطاعات طولية للمجارى النهرية وأخرى عرضية لأودية هذه المجارى . ويجب أن نشير إلى أن بعض هذه القطاعات قد يمكن انشاؤها باستخدام الخرائط الكنتورية ذات المقياس الكبير ولكن فى بعض الأحيان ـ خاصة إذا كانت الظاهرة التى يقوم بدراستها الباحث محدودة الأبعاد ـ فإنه يصبح من العسير عمل قطاعات لهذه الظاهرة باستخدام خطوط الكنتور ، ومن ثم يقوم الباحث برفعها مساحيا فى الحقل لتحديد أبعاد مثل هذه الظاهرة .

وتوضح القطاعات العرضية للأودية النهرية أشكال جوانب الأنهار وقد يظهر عليها بوضوح التوزيع الجغرافى للمدرجات النهرية وكيفية تعاقب حدوثها . ومن اليسير على الباحث أن يؤكد هنا سواء أكانت هذه المدرجات متماثلة ومتشابهة النشأة والترتيب على جانبى نهر ما *Matched Terraces* أو مدرجات غير متماثلة *Unmatched Terraces* أما القطاعات الطولية للأنهار فإنها تبرز بدورها درجة انحدار مجرى النهر فى أجزائه المختلفة سواء أكانت الشديدة الانحدار التى تقع عادة بالقرب من المنابع العليا أو تلك الأخرى البسيطة الانحدار التى تقع بالقرب من الأجزاء الدنيا للنهر . وقد يظهر مجرى النهر على شكل مصاطب متعاقبة فوق بعضها البعض وكل من هذه المصاطب قد يرجع نشأتها إلى أثر تجديد نشاط النهر وعمليات تعمقه رأسياً فى الصخور ويطلق على هذه الأجزاء المصطبية من مجرى النهر فى هذه الحالة تعبير (مناطق تجديد حياة النهر) *Points of rejuvenation or Knick-points* . وعندما يزداد فعل النحت الرأسى تبعا لتغير مستوى القاعدة العام *Base - Level* فإن مجرى النهر يصل فى النهاية إلى حالة الاستقرار أو

شبه الثبات *State of equilibrium* . ويتميز القطاع الطولى لمجرى النهر فى هذه الحالة بانحداره التدريجي البسيط الذى يمتد من منابعه العليا حتى مصبه ، كما تتلاشى فيه المحدبات أو المصاطب التى تتكون غالبا فى المراحل الأولى من دورة نمو مجرى النهر ويطلق عليه فى هذه الحالة تعبير المجرى النهرى الناضج شبه الثابت (المنحوت) *A graded Stream* .

(ثانيا) الفحص المعملى

Laboratory Examination

تستعين الجيومورفولوجيا الإستدلالية الكمية بالنتائج التى يمكن الحصول عليها عن طريق الفحص المعملى لعينات الصخور والرواسب والتربة وذلك لبناء قاعــدة معلومات كمية يمكن الإرتكاز عليها عند تصميم النماذج *Models* . وإلى جانب مختبرات الرسم الكارتوجرافى التقليدية زودت بعض الأقسام العلمية الجغرافية فى بعض الجامعات المطورة بمختبرات متخصصة لدراسات الاستشعار من بعد (تفسير الصور الجوية وتفسير المرئيات الفضائية) ومختبرات للحاسب الآلى ونظم المعلومات الجغرافية ، هذا إلى جانب معامل مزودة بآلات خاصة لحساب نسبة الأكاسيد فى التربة ومدى قلويتها والأس الهيدروجينى فيها وذلك باستخدام مقياس الحموضة *pH meter* وحساب حجم حبيبات التربة وعينات الرواسب باستخدام المنخل الكهربائى *Test - seive shaker* وتحديد نوع التربة على مثلث القوام . وتزويد هذه المعامل بالموازين الحساسة الخاصة بوزن عينات التربة وكذلك بالمحاليل الكيميائية لمعرفة خواص التربة وبأفران خاصة تعمل بدرجات حرارة عالية لحساب نسبة الرطوبة فى التربة ونسبة المواد العضوية فيها ونسبة المواد الملوثة التى تكتنفها وطحن عينات من التربة أو الرواسب وإلصاقها على الشرائح الزجاجية بعد مسحها وتنظيفها وإعدادها للفحص الميكروسكوبى لحساب نسبة كل من المعادن المكونة فيها والخصائص الطبيعية والكيميائية والبلورية لكل معدن فيها

هذا إلى جانب استخدام جهاز قياس النفاذية *Permeameter* لحساب درجة نفاذية المياه فى التربة والانحدارات الهيدرولكية للمياه الجوفية ودرجة

التصريف فيها *rate of discharge* كما يستخدم الماسح الضوئى الكهربائى *Electro - Optical scanner* لحساب اتجاه تجمع البلورات المعدنية فى الرواسب وخصائصها . فى حين أصبح من السهل اليوم حساب اختلافات نسيج عينات الرواسب عن طريق جهاز التصوير المشعاعى (التصوير بأشعة X) *X-ray radiography (Goudie, 1981 p. 80 - 103* .

وأمام هذا التطور الهائل فى صناعة الأجهزة والآلات وتطور التقنيات الحديثة استعانت الجيومورفولوجيا الاستدلالية الكمية بكافة الوسائل التى تستخدم فى علوم الرواسب *Sedimentology* والهيدرولوجيا والكيمياء والطبيعة بقصد اثراء قاعدة بياناتها الكمية حتى يمكن للباحثين فيها الوصول إلى نتائج علمية مقبولة ، ومن بين نماذج البحوث الجيومورفولوجية التى حاولت حساب الفعل الناتج عن العوامل *Processes* فى تشكيل الظاهرات التضاريسية *(Goudie 1981 p. 9)* فى المعمل ما يلى :

الباحـــث	العوامل التي تم دراسة فعلها في المعمل
- مارتيني Martini 1967 - جودي Goudie 1974 - وليام ويالون William and Yaalon - باتون Paton 1976	أ - تقييم فعل التجوية معمليا :- فعل الصقيع فعل التجوية الملحية أكسدة الرمال في الكثبان الرملية فعل الحموضة في تربة البودزول
- فردكين Friedkin, 1945 - شوم وخان Schumm and Khan 1971	ب - تقييم فعل المياه معمليا :- حساب فعل العوامل المكونة للمنعطفات النهرية حساب العوامل المؤثرة في نشوء شبكة التصريف المائي
- باركلو Burkalow - ستاثم Statham	جـ - المنحدرات :- حساب زاوية سكون المنحدارت وزاوية انزلاقها حساب تجمع الرواسب في المخروطات الرسابية
- ويلي Wahalley, 1978	د - فعل الجليد: حساب فعل النحت الجليدي
- ماكي Mckee, 1960 - بردي Purdy, 1974 - ثومبسون Thompson, 1977	هـ - فعل البحر : حساب مدي تجمع الرواسب في الحواجز الرملية الساحلية حساب تجمعات الشعاب المرجانية في الجزر الحلقية المرجانية حساب نحت الأمواج علي جانبي المضايق البحرية

ومن ثم فإن الفحص المعملى يختص بإجراء تجارب معملية على نماذج مصنعة بقصد حساب فعل أى عامل من عوامل التجوية أو التعرية . وفى المعمل أيضاً قد يقوم الباحث بتحليل عينات الرواسب أو التربة التى تم أخذها من الحقل ــ تحليلا طبيعيا أو كيميائيا أو بيولوجيا ــ لتحديد خواصها المختلفة وتقييم فعل عوامل التجوية والتعرية فيها . والهدف من ذلك كله هو تجميع قاعدة بيانات كمية بحيث يمكن الاعتماد عليها عند الاستدلال عن الحقائق والوصول إلى استنتاجات علمية كمية .

ثالثا : العمل المكتبي والنظرى

Office and Theoretical Work

لا تقتصر عملية اجراء بحث جيومورفولوجى فى ضوء التفسير الاستدلالى الكمى على المعلومات التى تجمع من الحقل والفحص المعملى فقط بل قد يتطلب ذلك أيضاً قيام الباحث بكثير من الأعمال فى المكتب . ويتبلور القصد من هذا العمل المكتبى فى محورين أساسيين هما ؛ جمع المعلومات والبيانات من الخرائط (الكنتورية والطبوغرافية والجيولوجية والهيدرولوجية) وتحليل كل منها كارتوجرافيا وانشاء خرائط جديدة ، لها دلالتها العلمية وكذلك جمع بيانات من مصادر أخرى تتمثل فى مجالات الاستشعار من بعد (تفسير الصور الجوية وتحليل المرئيات الفضائية) واستخدام الحاسب الآلى ونظم المعلومات الجغرافية وتخزين هذه البيانات المختلفة فى الحاسوب وترتيبها وتبويبها وتصنيفها ومعالجتها ثم استخراجها فى أشكال مختلفة وبيانات كمية تفيد البحث .

(١) التحليل الكارتوجرافي *Cartographic Analysis* :

كانت الخريطة ولا تزال من أهم أدوات الجيومورفولوجى للتعبير عن العلاقات المكانية لظاهرات سطح الأرض ونظم توزيعها الجغرافى . وقد استخدمت الجيومورفولوجيا الدافيزية الخرائط التى كانت تبنى معلوماتها على

التحليل الذاتى غير الموضوعى . ومن ثم فإن كثافة المعلومات على الخريطة ومدى صحتها فى هذه الحالة تتوقف على خبرة الباحث نفسه . ويرى كثير من الباحثين بأنه ليس من الصواب بناء مفاهيم جادة فى الدراسة الجيومورفولوجية على أساس التحليل الكارتوجرافى الذاتى *Subjective or Qualitative* . وسعيا للوصول إلى حقائق مؤكدة وتفسيرات علمية استدلالية مقبولة برزت أهمية التحليل الكمى للخرائط ، وإنشاء خرائط جيومورفولوجية موضوعية مطورة مبنية على استخدام الأساليب الكمية *Objective or Quantitative* . وكان من بين أقدم الخرائط الجيومورفولوجية الكمية تلك التى قام بها كلارك وزميله أوريل *Clarke J. and Orrell, K, 1958* عن خرائط خطوط تساوى جيب زاوية الانحدار *Iso - Sine Maps* وخطوط تساوى ظلها *Iso - Tangent Maps* وخرائط ويليام ولاس *Wallace, W. H, 1955* عن حساب السطح المحلى ودرجات الانحدار فى أجزاء من أراضى نيوزيلند ، وخرائط أدوين هاموند *Hammond E, H, 1953* عن الانحدارات والخصائص الطبيعية للرواسب السطحية فى مناطق مختلفة من الولايات المتحدة الأمريكية . وكذلك منشورات ادارة البحوث الهندسية العسكرية الأمريكية (فيكسبرج ـ فى عام ١٩٥٩) وخاصة عن طرائق المعالجة الكمية لأشكال ظاهرات السطح فى صحارى جنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية . هذا إلى جانب بحوث الأستاذ استرهلر *Strahler, A., 1954, 1957, 1964.* عن طرائق التحليل الكمى للتصريف المائى وظاهرات سطح الأرض . واختصت المدرسة الجيومورفولوجية فى جامعة شفيلد بدراسة الانحدارات جيومورفومترياً وكانت فى هذا الشأن سباقة عن غيرها من الجامعات الأخرى فى العالم .

(Abou el-Enin, 1962 a, b, 1964 a, b, Waters R. S., 1958 Savigear, R. A. G., 1965, and Doorn kamp J. C. 1971)

(٢) جمع البيانات عن طريق التقنيات الحديثة :

استخدام الاستشعار من بعد ـ الجوي والفضائي ـ ونظم المعلومات الجغرافية):

أفسحت التقنيات الحديثة وتطور صناعة آلات التصوير والأقمار الصناعية وأجهزة الاستشعار المثبتة فيها ، والحاسبات الآلية المجال أمام استخدام أجهزة متقدمة للقياسات الراديومترية والاستشعار من بعد لظاهرات سطح الأرض التى باتت تظهر بوضوح وبدقة فائقة على كل من الصور الجوية والمرئيات الفضائية . كما أسهمت الحاسبات الالكترونية فى حدوث نقلة نوعية فى أساليب البحث العلمى لمختلف العلوم ومن بينها الجيومورفولوجيا ، وكذلك فى طرائق جمع البيانات *Data* وتخزينها وتبويبها ومعالجتها واثراء التحليل الاستدلالى العلمى فى الدراسة الجيومورفولوجية المعاصرة . ويقصد بالاستشعار من بعد *Remote - Sensing* المسح الشامل لظاهرات سطح الأرض ودراستها دون لمسها أو الاقتراب منها ، ويتم هذا الأمر بالاستعانة بأجهزة متطورة . ويشمل ميدان الاستشعار من بعد كلا من :

أ – الاستشعار من بعد باستخدام تقنيات التصوير الجوى (الاستشعار الجوي) *Aerial Remote Sensing*

ب – الاستشعار من بعد باستخدام تقنيات الأقمار الصناعية (الاستشعار الفضائي) *Satellite or Space Remote - Sansing*

أ - الصور الجوية و تفسيرها :

ترجع بدايات فن التصوير الجوى إلى القرن الثامن عشر عندما نجح الماركيز آرلاند *Marquis D, Arlands* فى عام ١٧٨٣ من تصوير أجزاء من سطح الأراضى الفرنسية باستخدام البالون . وتمكن تورناشو (نادر) *Tournachou* فى عام ١٨٥٨ وايمى لوسيدا *A. Laussedat* فى عام ١٨٦٤ من تصوير سطح الأرض من الجو . وتطور فن التصوير بسرعة هائلة فى

القرن العشرين مع بداية تحليق أول طائرة من صناعة الأخوين رايت عام ١٩٠٣ *(Verstappen, 1977, p.1)* وظهرت أهمية الصور الجوية خلال الحربين العالميتين الأولى والثانية ومنذ نهاية الحرب عام ١٩٤٥ حتى الوقت الحاضر .

وتصنف الصور الجوية التى تلتقطها آلات التصوير الجوى المثبتة أسفل الطائرة حسب اتجاه المحور البصرى *Optical axis* لآلة التصوير بالنسبة لسطح الأرض إلى صورة جوية عمودية *Vertical* وأخرى مائلة ميلا بسيطا *Low - Obilique* أو مائلة ميلا شديدا *High - Oblique* ، وفى الصور الجوية العمودية ترى ظاهرات سطح الأرض من أعلى فى اتجاه عمودي، وتكون جميع أجزاء الصورة فى هذه الحالة متجانسة المقياس ، فى حين تصور ظاهرات السطح من جوانبها فى حالة الاسقاط المائل وتتميز الصورة فى هذه الحالة بعدم تجانس مقياسها . ومن ثم فإن استخدام الصور الجوية العمودية يعد أكثر شيوعاً فى الدراسات الجيومورفولوجية .

كما تختلف أنواع آلات التصوير الجوى حسب مجال انفراج عدسة التصوير ومجال رؤيتها فبعضها ذات حقل رؤية محدودة (من ٦٠ْ إلى ٦٥ْ) وبعضها الآخر ذات حقل رؤية واسعة (من ٩٠ْ إلى ١٠٠ْ) أو واسعة جداً من ١٢٠ْ إلى ١٣٠ْ) .

وقد تتركب آلة التصوير الجوى فى بعض الأحيان من عدة عدسات *Multi - Lens Camera* تعرف باسم الطرغون الثلاثى الأعين *Trimetrogon* حيث تتكون الكاميرا من ثلاث عدسات محمولة مع بعضها فى مركز واحد ، وتركب العدسة الوسطى فى وضع اسقاط عمودى فى حين تركب العدستان الآخريتان على جانبى العدسة الوسطى وفى وضع مائل (٦٠ْ) *Miller, V. C., 1961 p. 7* . ويحسب مقياس الصورة على أساس العلاقة بين البعد البؤرى للعدسة مقسوما على ارتفاع الطائرة .

وتجرى عمليات المسح الجوى وفقا لخطة طيران يتم اعدادها مسبقا لتنفيذ

تغطية التصوير الجوى للمنطقة المعنية ويراعى عند التصوير حدوث تغطية متراكبة *Over - Lapping* لضمان تصوير كل أجزاء سطح الأرض ، وتكون هذه التغطية جانبية *Sidelap* بنسبة ٣٠٪ من العرض الكلى للشريط المصور جويا، وأمامية *Over or Forward lap* بنسبة ٦٠٪ من طول الصور الجوية . وبعد الانتهاء من التصوير الجوى لكل أشرطة المنطقة المعنية ترتب الصور الجوية أما على شكل موزيك غير محكم *Uncontrolled Mosaic* حسب تتابع الصورة الجوية مع الأخرى التى تقع قبلها أو تلك التى تقع بعدها ، وقد تتضمن الصورة الجوية بعض التشوهات التى تتعلق بالاتجاهات والمسافات أو ترتب على شكل موزيك محكم تراعى فيه خلو الصور الجوية من أية عيوب (يحيى فرحان ١٩٨٧ ص ١٥) .

وفى المعمل تفحص الصور الجوية بأجهزة متنوعة لتظهر أشكال سطح الأرض فى أبعادها الثلاث (مجسمة) ومن بينها المجسام العدسى (الجيبي) *Lens or poket stereoscope* والمجسام ذو المرايا *Mirror stereoscope* والمجسام العاكس *Reflection stereoscope* ، هذا إلى جانب أجهزة أخرى تساعد على حساب مناسيب النقاط على الصورة مثل الأستريومتر (قضيب البرالاكس) *Stereometer or parallax bar* أو فحص الصور الجوية أستريوسكوبيا وتكبير أجزاء منها فى آن واحد باستخدام جهاز الكلش الرسام *The Kelsh plotter* والرسام التخطيطى العمودى *The Vertical Sketchmaster* وجهاز الاسقاط المزودج العاكس *The Double Reflecting Projector* وجهاز الرسم الخطى الاشعاعى *The Radial Planimetric Plotter (Miller, V. C., 1961 p. 8 - 20)* .

ولما كانت الصورة الجوية تفحص بأكثر من شخص واحد فإن كثافة المعلومات المستخلصة منها ومدى صحتها تختلف كذلك من شخص إلى آخر كل حسب قدراته ومهاراته وخبراته . وتسهم الصور الجوية فى ضوء تفسير خصائص درجات ألوانها *Tone or Tint* ونسيجها *Texture* وأنماط الظواهر

فيها *Pattern* وشكلها *Form* وظلالها *Shadow* وحجمها *Size* وموضعها *Site* فى تفسير معلوماتها (شكل ٣) .

ويؤكد الأستاذ فارتسابن *Verstappen, V. 1977 p. 5* بأنه عند الاستدلال عن معلومات كمية من الصور الجوية لخدمة الدراسات الجيومورفولوجية يلزم أن يكون فاحص الصورة الجوية متمرساً فى الدراسات الجيومورفولوجية وأن يجرى معالجته لمعلوماتها متزامناً مع البحث الحقلى للمنطقة المعنية بالدراسة وأن تقارن كل هذه النتائج مع تلك المستمدة من الفحص المعملى . أى تحليل الصور الجوية جيومورفولوجيا ينبغى أن يتم فى ضوء فهم الخصائص الجيومورفولوجية للمنطقة المعنية بالدراسة .

وتختلف الصورة الجوية عن الخريطة وذلك لأنه عند فحصها استريو سكوبيا يمكن رؤية ظاهرات سطح الأرض فى أبعادها الثلاث كما يستطيع الجيومورفولوجى أن يتعرف على الشكل العام للمنطقة المعنية بالدراسة وخصائصها . وتزداد أهمية استخدام الصور الجوية فى الدراسة الجيومورفولوجية فى حالة وقوع منطقة الدراسة بعيداً عن مركز إقامة الباحث وكذلك عند دراسة مناطق يصعب إجراء البحث الحقلى فيها بصورة دورية مثل الكثبان الرملية والمسطحات الجليدية والأراضى الجبلية الشديدة التضرس ومناطق حدوث الانزلاقات الأرضية وأراضى المستنقعات والسبخات والسدود النباتية . ومن ثم توفر وسيلة الفحص الاستريوسكوبى للصور الجوية الجهد والوقت والتكاليف التى يحتاج إليها العمل فى الحقل . ويتم فحص الصور الجوية استريوسكوبيا بإتباع الأسلوب الكمى وقياس أبعاد الظاهرات ومساحتها وتحديد اتجاهاتها وأحجامها وأعدادها بصورة أدق مما يمكن عمله فى الحقل . ويستكمل الجيومورفولوجى دراسته باستخدام الصور الجوية بدلا من أن يكلف نفسه مشاق السفر والانتقال إلى منطقة الدراسة بين الحين والآخر . وعند فحص عدة مجموعات من الصور الجوية القديمة التى تم إلتقاطها فى سنوات سابقة بتلك التى تم تصويرها فى سنوات لاحقة يمكن للجيومورفولوجى فى

هذه الحالة تتبع التغيرات التى تطرأ على تشكيل ظاهرات سطح الأرض وتقييم فعل عوامل التجوية والتعرية فيها .

ب - الاستشعار من بعد واستخداماته الجغرافية :

تنقسم الأقمار الصناعية التى أطلقها الانسان فى الفضاء إلى نوعين أساسيين هما :

الأقمار المتيورولوجية ـ المتيوسات *Meteosat* ـ مثل أقمار نوا الأمريكية *Noaa* وإيسا *Essa* ونيمبوس *Nimpus* وكوزموس السوفيتية *Cosmos* وأقمار المتيوسات الأوربية والأقمار الصناعية لاندسات *Landsat* التابعة لوكالة ناسا *Nasa* الأمريكية للفضاء (على على البنا ١٩٨٣ ومحمد اسماعيل الشيخ أ ، ب ١٩٨٣) .

وتعمل أجهزة الاستشعار من بعد المثبتة فى هذه الأقمار الصناعية على قياس الموجات الضوئية المرئية والأشعة تحت الحمراء المنعكسة من كل ظواهر سطح الأرض ، ومن ثم يمكن تحليل كافة أشكال سطح الأرض وموارده عن طريق تحليل بيانات خصائص انعكاساتها الطيفية . وتختلف أجهزة الاستشعار من بعد فى قدرتها على تسجيل الطاقة فى نطاقات الطيف المرئ والأشعة تحت الحمراء حيث أنها فى أقمار اللاندسات (١ ، ٢ ، ٣) مزودة بالماسح المتعدد الأطياف *Multi Spectral Scanner (M/ISS)* بقنواته الأربع ، بينما فى الأقمار لاندست (٤ ، ٥) مزودة بالماسح الموضوعى *Thematic Mapper (TM)* الذى يسجل الطاقة لسبع قنوات . أى أن المرئية الواحدة للأقمار الصناعية تسجل بواسطة عدة أحزمة طيفية ، تعطى فى النهاية مرئية متعددة الأطياف *Multispectral Image* بعد مسح سطح الأرض كله فى نطاق المرئية مسحاً شاملاً دقيقاً يتم فى خطوط متوازية ومتقاربة جداً على طول سطح الأرض وفى اتجاه عمودى لاتجاه مدار القمر الصناعى *(Maguire, 1989 p. 94)* وتسجل هذه الأجهزة المطورة الطاقة الحرارية المنعكسة من سطح الأرض على شكل قيم رقمية *Digital Numbers* باستخدام

الطيف الكهرومغنطيسى *Electro-Magnetic Spectrum* الذى ينساب فى الفضاء بسرعة الضوء . وعن طريق محطات الاستقبال الرادارية الموجودة على سطح الأرض يمكن استقبال القيم الرقمية التى تبثها أجهزة الاستشعار لعناصر الصورة حسب مواقعها فى المرئية الفضائية وتسجل هذه البيانات على أشرطة كمبيوتر *Computer Compatible Tapes (CCT)* وتتكون المرئية الفضائية فى الماسح الموضوعى متعدد الأطياف *MSS* فى أقمار اللاندسات من ٢٤٢٠ خط مسحى ويتضمن كل واحدة منها على ٣٢٤٠ عنصر صورة . ومن ثم فإن مرئية النطاق الواحد تشتمل على ٧٥٨٠ مليون عنصر فى المرئية الواحدة لكل النطاقات . (على على البنا ١٩٨٣ ص ٢٨ ـ محمد الصالح ١٩٩١ ص ٦١ ـ العنقرى ١٩٨٦ ، *Kairu, E, 1982 p. 251m* *- Curran, P. 1985, p. 74 - Magurie, 1989 p. 98*) وباستخدام الحاسب الالكترونى تتم معالجة هذه البيانات الرقمية قبل استخدامها للحصول على معلومات دقيقة من المرئية الفضائية وذلك عن طريق عدة عمليات متتابعة تتضمن التصحيح الهندسى للمرئية الفضائية *(Rectification) Geometric Image Correction* ، وتحسين منظرها *Image Enhancement* وتصنيفها *Classification* فى ضوء خصائصها الطبيعية (أو بصماتها) *- Spectral Characteristics or Signiture* . ويمكن تفسير المرئيات الفضائية بصريا *Visual* أى الطريقة القياسية أو التناظرية أو عن طريق تحليلها رقمياً *Digital Analysis* بإستخدام الحاسب الإلكترونى *Compture - Assisted Analysis* سواء الكبير الحجم الذى يعمل عليه عدة أفراد *Mainframe Computer* أو المتوسط الحجم *Mini Computer* أو الصغير الحجم *Micro Computer* . وقد عدد الأستاذ جنسين *(Jensen, 1986)* ٢٨ جهازاً للحاسب الآلى تستخدم اليوم فى تحليل بيانات المرئيات الفضائية .

أهمية المرئية الفضائية في الدراسات الجيومورفولوجية :

تظهر المرئية الفضائية كل ما يتمثل على سطح الأرض من ظاهرات ومن

ثم تقدم معلومات متنوعة لكثير من العلوم بل ولمن يحتاج إلى إستخداماتها من بعض المؤسسات والهيئات ودوائر البلديات . وتعد بيانات المرئية الفضائية من أهم مصادر المعلومات التى تعتمد عليها خرائط إستغلال الأرض *Land Use Maps* . وتعتمد أفرع الجغرافيا الطبيعية عامة والجيومورفولوجيا المعاصرة خاصة على البيانات المستمدة من تحليل المرئيات الفضائية . فقد أكدت المرئية الفضائية أهميتها فى تقديم معلومات دقيقة جداً عن التوزيع الجغرافى للنباتات الطبيعية على سطح الأرض ، وأنواع الغابات وما تتعرض له الأشجار من أمراض أو لعمليات إجتثاث وإزالة ، وحجم هذه الأشجار وقيمتها الاقتصادى . كما تظهر المرئيات الفضائية أنواع التربات والتوزيع الجغرافى للمحاصيل المنزرعة ، وتستخدم إدارات الغابات فى العالم (مثل إدارة الغابات الكندية والأمريكية) المرئيات الفضائية للتعرف على حالة الغابات بالإستعانة ببرامج خاصة مثل *Large Area Crop Inventory Experiment (LACIE)* وبرنامج *Agricultutal and Resources Inventory Surveys (AGRISTARS)*.

وأسهمت المرئيات الفضائية فى توفير البيانات الخاصة عن الغلاف الجوى وما يطرأ عليه من تغيرات وقتية . وأصبح من المألوف مشاهدة خرائط الطقس العالمية المستمدة من تحليل المرئيات الفضائية على شاشات التلفاز يومياً . ودرس «بول» مراحل نشوء العواصف *Ball, 1979* فى حين درس زميلى الأستاذ إيريك باريت *Barrett, E, 1981* إحتمالات سقوط الأمطار عن طريق تحليل مرئيات أقمار المتيوسات .

وتقدم المرئيات الفضائية - لاندسات - معلومات دقيقة جداً لكل أشكال سطح الأرض . وعند تحليل هذه البيانات يمكن للفاحص القيام بعمليات تحديد *Identification* وإستدلال *Detection* ورسم *Mapping* ظواهر سطح الأرض بل وتلك التى تقع تحته . وقد أثبتت المرئيات الفضائية - لاندسات - قيمتها العلمية فى إظهار أشكال التراكيب الجيولوجية ، والأثر الناتج عن التجوية

وعوامل التعرية *(Millington and Townshend, 1987)* ، وحدوث الثورانات البركانية وإنسيابات اللافا منها وأثر ذلك على تشكيل سطح الأرض . هذا إلى جانب تحديد الأراضى التى تشكلت بفعل الجليد قديماً *Glaciation* وتلك التى تتشكل بفعل الجليد حالياً *Glacierization* ، أو كيفية تراجع الجليد الحالى عن الأرض التى يغطيها مع إرتفاع درجة الحرارة وإنصهاره *Deglacierization (Halland Martinac, 1985)* ومسالك إنسياب جبال الثلج الطافية فى المحيطات لتجنب أخطارها فى الملاحة البحرى ولإتخاذ الإجراءات اللازمة لحماية المحطات البحرية ومراكز إستخراج النفط من البحار . ومن بين الإتجاهات الحديثة فى الجيومورفولوجيا المعاصرة دراسة نطاقات الصحارى الحارة الجافة بإستخدام المرئيات الفضائية والتى أثبتت فعاليتها فى تمييز أسطح الصحارى الحارة الجافة إلى مجموعات متباينة بدقة بالغة وفى بيانات كمية دقيقة لا يمكن الحصول على مثلها من أى مصدر آخر . وقد تفوقت المرئيات الفضائية على ما تقدمه الصور الجوية فى شأن تحديد أبعاد حقول الكثبان الرملية وبحار الرمال بأشكالها وإمتداداتها المختلفة وأسطح البديمنت التحاتية *Pediment* وأسطح البيدمونت الإرسابية *Piedmont Deposional Surfaces* (أبو العينين ١٩٩٥ ، أ ، ب ، ج) والمراوح الفيضية . وقد درس سجويرا *Suguira, 1980* أشكال الرواسب السطحية البحرية ووحداتها المختلفة عن طريق تفسير المرئيات الفضائية لأقمار اللاندست .

وعن طريق الماسح الموضوعى *(TM)* المحمول على القمر الصناعى لاندسات (٥) نظام إيرداس وعلى مرئية فضائية رقم *Path : 160 Raw : 42* *- ID : 4253306193* درس نصر وزميله يحيى *Naser and Yehia 1993* رواسب مروحة وادى بيح الفيضية الواقعة إلى الشرق من رأس الخيمة بدولة الإمارات العربية لمتحدة . وميز الباحثان ست درجات مختلفة للرواسب السطحية للمروحة الفيضية ، وإقترحاً بأنها تمثل ست مراحل متعاقبة من

مراحل نشوء هذه المروحة وتطورها . غير أن الباحثين لم يوضحا المعايير التى إتخذاها كأساس لتصنيف الوحدات الطيفية إلى وحدات زمنية تختلف فيما بينها من حيث العمر النسبى . ولم يذكر الباحثان أسباب إعتبارهما أن المرحلة الأولى من هذه المراحل المذكورة أقدم عمراً عن غيرها من المراحل الأخرى .

وعن طريق التفسير البصرى القياسى لنفس هذه المرئية الفضائية - لاندسات -وبإستخدام الفحص الحقلى فى مروحة وادى بيح الفيضية ، لم يجد الباحث (أبو العينين ب ، ج ١٩٩٥) أية أدلة حقلية تؤكد حدوث هذه المراحل الست المقترحة من قبل الباحثين المذكورين . ومن ثم يتبين أن كل وحدة من الوحدات التى أظهرتها نتائج الإنعكاسات الطيفية تمثل فى الواقع قيمة رقمية تعبر عن إختلاف مقدار الأشعة المنعكسة من سطح الأرض . وهذا يفسر أسباب إرتفاع قيم الإشعاع المنعكس من التربة الطينية ، وإنخفاضه فى التربة الرملية . ولا يمكن إعتبار الإختلافات فى قيم الإنعكاسات الطيفية لظواهر سطح الأرض دليلاً على إختلاف عمرها النسبى . ومن هنا تظهر أهمية إستعانة الجيومورفولوجى بنتائج الدراسات الحقلية للتحقق من البيانات التى يمكن الحصول عليها عند مرئيات اللاندسات الفضائية .

جـ - الحاسوب ونظم المعلومات الجغرافية :

تعود بداية إستخدام الحاسوب فى نظم المعلومات الجغرافية إلى عام ١٩٦٤ عندما إنعقد مؤتمر أنظمة معلومات تخطيط المدن فى كندا ، وقاد هذا المؤتمر إلى التفكير فى إنشاء رابطة المعلومات الحضرية *(URISA)* ثم شاع إستخدام هذا النظام بعد ذلك فى كثير من الهيئات والمؤسسات الحكومية أكثر من إستخدامه من قبل الباحثين نظراً لإرتفاع تكاليف تشغيله . ويقصد بنظم المعلومات الجغرافية كل ما يتعلق بعمليات حصر الكم الهائل من البيانات والمعلومات وتخزينها وتبويبها وتصنيفها ومعالجتها بإستخدام مكونات الحاسوب الأساسية *Hardware* أو الإستعانة ببرامجه *Soft ware* . وبإستخدام الحاسوب

يمكن إسترجاع بعض هذه البيانات المخزونة أو كلها وإجراء تعديلات عليها وتحديثها ببيانات أخرى *Up-dating* وتحليلها وعرض نتائجها وإظهارها على أشكال رسوم بيانية ومنحنيات ومجسمات وخطوط حركية وجداول بيانية وصور *(Fischer, M, 1993 P.1)* . وتستوجب الأبعاد المتعددة لطبيعة البيانات الجغرافية إستخدام الحاسوب ونظم المعلومات الجغرافية فى تحليلها ومعالجتها . ويعمل الحاسوب الآلى المتقدم *Supper Computer* بسرعة تصل إلى تنفيذ ١٠٠٠ مليون إشارة (تعليمات) *Instruction* فى الثانية الواحدة وتخزين ٣٢ مليون كلمة فى ذاكرته الرئيسية ، ويتصل به جهاز رسم *Graph Plotter* يمكن عن طريقه رسم خط طوله ١م/ث وطباع *Printer* ٥٠٠ شكلاً/ث *(Maguire, 1989 p1973)* . ولا يقتصر إستخدام الحاسوب فى نظم المعلومات الجغرافية على الجغرافيين فقط ، بل يستعين به كافة الباحثين الآخرين فى كل المجالات العلمية الأخرى وبخاصة تلك التى يلزم دراستها بيانات ومصادر معلومات كثيرة ومتنوعة وتصبح الحاجة ضرورية لتخزين هذه المعلومات فى ذاكرة الحاسوب وتبويبها وتنظيمها وبرمجتها .

وتسهم نظم المعلومات الجغرافية فى عمليات البحث المكانى *Spatial Research* عن وسائط معينة *Parameters* فى قاعدة البيانات ثم مطابقة *Overley* أكثر من شريحة مكانية مع بعضها البعض بقصد تقديم حلول وإجابات لمشكلات مكانية معينة . (رمزى الزهرانى ١٩٩٢ ص ١٢ ، وكوين *(Cowen D, 1987 p48* . وفى ضوء النقلة النوعية الهائلة فى تطور إستخدام الحاسوب ، وإمكاناته المتزايدة يوماً بعد يوم أصبح إستخدامه من قبل المؤسسات والإدارات أمراً ضرورياً لأنه يعمل على تنظيم العمل وسرعة إنجازه وحسن إدارته وحفظ البيانات فى حيز محدود وبأسرع وقت . ونجم عن إستخدام الحاسوب ثورة فى طرائق الأساليب الكمية *Johnston R.J., 1987* ، حتى صار من أهم الوسائل التى تستخدم لدراسة العلاقات المكانية ونظمها . وبفضل الحاسوب تمكن الباحثون من تصميم نماذج واقعية فعلية

Realistic Models لمنحدرات السفوح وعلاقتها بالتصريف المائى *Anderson, 1982* ، ورسم البيانات الكمية وإنشاء الخرائط الجيومورفولوجية وخرائط التربة والتصريف المائى *Balty, M. 1987, Robinson A.H. et al, 1984* .

وتطورت كذلك تصميمات البرامج التى تفيد دراسات متنوعة بإستخدام الحاسوب . وقد أسهم نظام *ARC\INFU* من مؤسسة *Environmental System Research Institute (ESRI)* فى عام ١٩٨٢ على زيادة الطلب على الحاسوب لكفاءته فى نظم المعلومات الجغرافية . ونظراً لإهتمام المؤسسات المختلفة فى العالم بإستخدام نظم المعلومات الجغرافية ولأهمية الإستعانة بالبرامج الخاصة فى هذا الشأن بدأ المختصون بتصميم برامج أخرى جديدة من بينها برامج أمريكية مثل نظام أنترجراف *GIS Intergraph* وبرامج أطلس *Atlas GIS* وبرامج ماك *MAC - GIS* وغيرها من البرامج الأخرى ومنها سيكاد الألمانى *SICAD* وسبانس الكندى *SPANS* . وقد إرتفع عدد الأنظمة أو البرامج المستخدمة فى الحاسوب اليوم لتصل إلى أكثر من ٢٠٠ نظاماً . ولإستخدام نظم المعلومات الجغرافية بكفاءة ينبغى على الدارس معرفة التعامل الجيد مع مكونات الحاسوب الرئيسة وطرائق إستخدامه . ويتآلف جهاز الحاسوب من ثلاثة أجزاء تتمثل فى وحدة الإدخال *In put* ووحدة المعالجة المركزية ووحدة الإخراج *Out put* . وعند تصميم قواعد المعلومات الجغرافية يجب التحقق من دقة هذه المعلومات وتصنيفها ، وهى تتآلف من بيانات مكانية *Spatial* وأخرى وصفية *Descriptive* . (محمد الخزامى ١٩٩٣ وخالد العنقرى ١٩٨٦) . ويمكن تمييز الأولى فى الحاسوب على شكل نقط وخطوط ومساحات ومجسمات ، والثانى على شكل هياكل وقوائم وتقارير وأرقام وقياسات وعناصر بيانية ورموز . وينبغى تحقيق الترابط الجغرافى لكافة البيانات فى قاعدة المعلومات الجغرافية عن طريق رمز التعريف *Identifier (ID)* .

وشاع إستخدام الحاسوب اليوم فى رسم الخرائط الآلية *Computed Assisted Cartography* وذلك بإستخدام برامج خاصة مثل *SURFER* وبرنامج *Atlas Graphics* الذى يختص بخرائط التوزيعات وبرنامج *SPSS* وبرنامج *Harvard Graphic*.اللذان يستخدمان فى معالجة الأساليب الكمية وبرامج الإستشعار عن بعد وبرامج نظم المعلومات الجغرافية مثل *(IDRIS, CARIS, TIMS)* وبرنامج *ERDAS* لدراسة الموارد الأرضية . وبإستخدام الحاسوب يمكن للباحث أن يبتكر نماذج عملية كمية تسهم فى وضع حلول إيجابية لبعض المشاكل فى الحياة العملية . وقد نجحت بعض الأبحاث الجيومورفولوجية التطبيقية عن طريق تصميم نماذج كمية واقعية *Realistic Quantitative Models* إيجاد حلول لكثير من المشاكل العملية ، من بينها تحديد حجم مياه الخزانات الجوفية فى المناطق شبه الجليدية *Periglaciated Regions* ، وأثر تساقط الثلج فوق أسلاك الجهد العالى الكهربائى ، ومن ثم تحديد مواصفات هذه الأسلاك لتتحمل ثقل الثلج المتجمع فوقها ، ووضع النماذج الكمية التى تخدم مواصفات مد الطرق وإقامة الجسور فى مناطق الكارست الجيرية وتلك المناطق التى تتعرض لعمليات الهبوط الأرضى .

وإنطلاقاً من أهمية إستخدام الحاسوب ونظم المعلومات الجغرافية وافقت الحكومة البريطانية على تشكيل فريق عمل من المتخصصين لوضع سياسات مستقبل إستخدام هذا النظام الجديد فى الدراسات الجغرافية فى بريطانيا وتطبيق إستعماله فى كل الجامعات البريطانية *(DO, E, 1987)* . وأكد الأستاذ ماجوير *(Maguire, D, 1989 p172)* بأن نظم المعلومات الجغرافية هى الوسيلة العلمية السليمة التى يمكن أن تغير نمط الأساليب التقليدية فى الجغرافيا عامة والجيومورفولوجيا خاصة .

وعن طريق نظم المعلومات الجغرافية يتحقق للجغرافى إستخدام زخم هائل من البيانات وأن يقوم بتحليل النظم المكانية وتصميم النماذج الواقعية لأشكال سطح الأرض ، وإختبار المفاهيم والنظريات المقترحة وتقييمها علمياً . وقد

يسرت نظم المعلومات الجغرافية دراسة العلاقات المتبادلة بين التركيب الجيولوجى وأشكال سطح الأرض والتصريف المائى وتخزين كل هذه المعلومات ثم إظهارها فى صورة متطابقة فى شكل واحد إذا ما أراد الفاحص ذلك . وينبغى ألا ننظر إلى نظم المعلومات الجغرافية على أنها أسلوب جديد من أساليب التطور التقنى فحسب ، بل يحسن أن نتعرف على دورها فى وضع حلول لكثير من القضايا والمشكلات البيئية . وتؤهل هذه الأساليب الجديدة طالب الجغرافيا بخبرات وقدرات عملية تجعله قادراً على التفاعل فى الحياة العملية والمشاركة فى تقديم خدمات مجتمعية مهمة ، وفتح الفرص أمامه للعمل بكفاءة فى مجالات مختلفة .

غير أن هناك فئة أخرى من الجغرافيين ومن بينهم كوبوك *Coppock T., 1991 P285* وماسر وبلاكمور *Ian Masser and Blackmore M, 1991 P1* وفيشر ونيجكامب *Fischer, M and Nijkamp, P, 1993 P3* يرون خلاف ذلك . وتتلخص آراؤهم حول مشكلات إستخدام الحاسوب فى الدراسة الجغرافية عامة والجيومورفولوجية خاصة فى النقاط التالية :

١ - إهتمام نظم المعلومات الجغرافية بتطور تقنيات مكونات الحاسوب *Hardware* والبرمجيات *Software* بدلاً من الإهتمام بتطوير التعامل مع المعلومات الجغرافية نفسها .

٢ - توظيف بعض الأساليب الكمية لنظم المعلومات الجغرافية يعد توظيفاً ضعيفاً حيث أن نتائجها حول بعض البيانات غير موثوق فيها .

٣ - إستخدام العلامة الأساسية *Bench-Marking* فى نظم المعلومات الجغرافية أثبت كفاءة فى إيضاح كثير من المعلومات ، وأخفق فى نفس الوقت إيضاح معلومات أخرى تحتم الباحث إستخدام وسائل مختلفة لمعرفتها .

٤ - قلة عدد المدربين والمتخصصين فى هذا المجال يعوق من التوسع فى إستخدام نظم المعلومات الجغرافية ، هذا إلى جانب تكاليف التشغيل

المرتفعة .

٥ – طرائق جمع البيانات حتى بالوسائل الكمية والتقنيات الحديثة ومعالجتها في الحاسوب لا يزال يشوبها بعض الأخطاء .

٦ – اعتماد نظم المعلومات الجغرافية على البيانات المستمدة من الخرائط التى تختلف كثافة معلوماتها تبعا لتباين مقاييس رسم الخرائط .

٧ – تحديث البيانات المخزونة في الحاسوب من مصادرها المتنوعة يتطلب جهداً كبيراً وتكاليف مرتفعة والاستعانة بفنيين متمرسين لإنجاز مثل هذا العمل بكفاءة .

٨ – استخدام البيانات *Data* دون فهم مقاصدها من قبل بعض المستخدمين للحاسوب يؤدى إلى مخاطر الاستدلال لمفاهيم غير صحيحة .

٩ – عدم إدراك بعض مستخدمى الحاسوب ونظم المعلومات الجغرافية العمل الذى يقومون به ، ولأهدافه ، وقد يتركون الأمر فى النهاية للحاسوب للقيام بهذا العمل بدلا منهم .

ويرى تيرى كوبوك *Coppock T. 1991 p. 296* بأنه «ينبغى على الخبراء فى تشغيل نظم المعلومات الجغرافية الذين يقدمون خدماتهم للمستخدمين معرفة العمل الذى يقومون به ، وإلى أى مدى يمكن الإعتماد على النتائج المتحصلة منه . ثم ابعاد مثل هذا التحليل وقيمته» وأوضح مانفريد فيشر *Fischer, M, M, 1993 p. 3* بأنه «لابد من أن يعقد اتحاد وثيق العرى أو زواج بين كل من طرائق تصميم النماذج وتقنيات الحاسوب وذلك عند اتخاذ قرارات سليمة لها دلالاتها التطبيقية والعملية» .

اتجاهات الجيومورفولوجيا المعاصرة ... إلي أين :

بلا أدنى شك أثبتت الجيومورفولوجيا الدافيزية واستخدام الأساليب الوصفية الكيفية فيها ، عدم كفاءتها العلمية أمام تحديات النقلة النوعية الهائلة التى حدثت منذ الستينيات من هذا القرن فى إستخدام التقنيات المطورة والحصول على كم هائل من البيانات . ومن ثم لجأ كثير من الجيومورفولوجيين إلى

استخدام هذه الوسائل الحديثة أملا فى تعزيز المفاهيم الجيومورفولوجية وتقوية أركانها وشد أزرها. وعند العرض لمفاهيم علمية فى الجيومورفولوجيا يلزم الباحث العمل على تأسيس قواعدها فى ضوء نتائج الأساليب العلمية الكمية التى تتجنب الوصف الذاتى غير الموضوعى . ومن هنا يتفق كثير من الجيومورفولوجيين على ضرورة الاستعانة بدراسات نظم الاستشعار عن بعد (الجوية والفضائية) واستخدام الحاسوب ونظم المعلومات الجغرافية لبناء قاعدة معلومات جادة للوصول إلى استنتاجات ومفاهيم واقعية لها دلالاتها العلمية .

ومن بين مزايا استخدام الجيومورفولوجى للأساليب الكمية ووسائل التقنيات الحديثة والمطورة اتاحة المجال له القيام بالعمل بكفاءة فى الخدمات المجتمعية ، والانفتاح على فرص عمل جديدة وأن يكون قادراً على التفاعل مع متطلبات العصر وما يحدث فيه من تطورات علمية متلاحقة . ويرى الكاتب بأن الجغرافيا عامة والجيومورفولوجيا خاصة لا يمكن لها أن تقفا مكتوفة الأيدى ومعصوبة الأعين أمام التغيرات المتلاحقة لأساليب البحث العلمى المطورة ، وأن يظلا متمسكين باستخدام الأساليب التقليدية الكيفية . وعلى ذلك لا يتفق الكاتب مع رؤية الأستاذ فتزجيرالد *Fitzgerald, B. P. 1978 p, 1* حول اتجاهات الجغرافيا المعاصرة فى قوله «أن الجغرافيا المعاصرة إلى حد ما معنية باستخدام أساليب كمية مبهمة ، وأكثر من ذلك فإن هذه الأساليب لا تخدم إلا نفسها .. وأن مطرقة ثقيلة من الأساليب الكمية تستخدم اليوم فى تحطيم البندقة الجغرافية» .

"Modern geography is some what concerned with abstruse statistical techniques, and what is more statistical techniques for their own sake ... Statistical sledge - Hammer is now being used to crack the geographicl nut".

والخلاصة فإن الجيومورفولوجيا علم حيوى متطور وتتغير أساليب البحث واتجاهاتها فيه مع تقدم التقنيات المستخدمة فى كل عصر ، والتى يمكن عن

طريقها أن يكتسب الباحث بيانات مهمة فى أسرع وقت وبأقل جهد . وعلى الجيومورفولوجى استخدام أساليب البحث العلمى الكمية المطورة عند عرضه لمفاهيم أبحاثه ونتائجها .

الفصل الرابع

المدارس الفكرية الجيومورفولوجية المعاصرة

(مدرسة الجيومورفولوجيا المناخية)

تعددت المدارس الفكرية الجيومورفولوجية تبعا لاختلاف المناهج الدراسية الجيومورفولوجية من جهة ، ولتعدد تخصص الباحثين من الجيولوجيين والمهندسين والكيميائيين والجغرافيين ، واتجاهات واهتمامات كل منهم بالدراسة الجيومورفولوجية من جهة أخرى . ولا تزال تعمل فى الميدان الجيومورفولوجى فى الوقت الحاضر عدة مدارس جيومورفولوجية لكل منها اتجاهاتها الخاصة ويمكن ايجاز تلك المدارس الفكرية المختلفة فيما يلى :

المدرسة الجيومورفولوجية الدافيزية *Davision geomorphology*:

مؤسس هذه المدرسة هو العالم الأمريكى وليم موريس دافيز *W. M. Davis* (١٨٥٠ - ١٩٣٤) الذى استطاع أن يميز الجيومورفولوجيا كعلم له قواعده وأصوله . واعتمدت المدرسة الدافيزية على دراسة ظواهر سطح الأرض فى الحقل *Genetic description* ووصفها تبعا لخبرة الباحث ورؤيته الذاتية . وأوضح دافيز ضرورة تعرف الباحث على الدورة التحاتية لظواهر سطح الأرض وكيفية نشأة كل ظاهرة وتصنيف هذه الظواهر تبعا لأختلاف ظروف نشأتها . وعنيت هذه المدرسة بدراسة بقايا أسطح التعرية *erosion surface remnants* فى مناطق العالم المختلفة وذلك لمعرفة تطور مظهر الأرض *Denudation Chronology* واقتراح العمر النسبى لهذه الظواهر .

وظلت آراء المدرسة الجيومورفولوجية الدافيزية أو الأمريكية هى السائدة فى الفكر الجيومورفولوجى العالمى حتى بداية القرن العشرين ، وذلك عند ظهور المدارس الجيومورفولوجية المعاصرة . ومن بين أنصار المدرسة الجيومورفولوجية الدافيزية لوبيك *A. K. Lobeck* ، وفون انجلن *O. D. Von*

Englen ، وثورنبرى *W. D. Thornbury* فى الولايات المتحدة ، وولدريدج *S. W. Wooldridge* ، ودافيد لنتن *D. L. Linton* وسيسونز *J. B. Sissons* ، وسباركس *B. W. Sparks* وايرك برون *E. H. Brown* فى المملكة المتحدة ، وكوتون *C. A. Cotton* فى نيوزيلند ولستر كينج *L. C. King* فى جنوب أفريقيا .

٢ - المدرسة الجيومورفولوجية المورفومترية

Morphometric geomorphology

حيث أن نتائج البحث الحقلى فى الدراسة الجيومورفولوجية تختلف تبعا لاختلاف خبرة الباحث نفسه ، وأن وصف الباحث لمنطقة الدراسة يختلف من باحث إلى آخر ، تبعا للأدلة الحقلية التى شاهدها كل باحث فى الحقل ، لذلك اهتم أنصار المدرسة الجيومورفولوجية المورفومترية بقياس فعل عوامل التعرية والتجوية وتقييمه كميا وقياس أبعاد عناصر ظواهر سطح الأرض فى الحقل قياسا مباشرا بواسطة آلات وأجهزة خاصة ، تحدد حسابيا وبدقة ، مورفولوجية ظواهر سطح الأرض . كما اهتمت هذه المدرسة كذلك بدراسة تشكيل ظواهر سطح الأرض وبحساب مدى فعل كل من عوامل التعرية والتجوية فى الوقت الحاضر . ومن ثم تميز الوصف الجيومورفولوجى لهذه المدرسة بأنه وصفا كميا *Quantitative* ، واستعانت هذه المدرسة بالقوانين الكمية وبمعلومات مستمدة من علوم الكيمياء والطبيعة والاحصاء لتسهم فى وصف ظواهر سطح الأرض ودراستها دراسة مورفومترية دقيقة بحيث لا تعكس خيال الباحث أو تعبر عن تخمينه أو تكهناته . وكان بداية ظهور هذه المدرسة المورفومترية فى الولايات المتحدة الأمريكية أيضا ومن أظهر مؤسسيها روبرت هورتن *R. H. Horton* ، وآرثر أسترهلر *A. N. Strahler* . وقد لاقت هذه المدرسة كثيرا من المؤيدين لها من الجيومورفولوجيين فى معظم الدول الأوربية .

٣ مدرسة الجيومورفولوجيا التطبيقية *Applied geomorphology*:

لا يتزعم هذه المدرسة الجيومورفولوجية الحديثة كاتب معين ، بل كان نتيجة لاشتغال فئات علمية متنوعة من الجيولوجيين والمهندسين والكيميائيين والزراعيين والهيدرولوجيين والمشتغلين بعلوم البحار والعلوم العسكرية فى المجال الجيومورفولوجى ، واهتمام كل هؤلاء بدراسة أشكال ظواهر سطح الأرض وتحديد مدى الاستفادة منها ، أن ظهرت فى الآونة الحديثة أهمية القيمة العلمية والعملية للدراسات الجيومورفولوجية . وعلى سبيل المثال اهتمت الجيولوجيا الاقتصادية *Economic geology* بتحديد أسهل الطرائق وأنسب الوسائل لاستغلال المعادن المختلفة والبحث عنها وذلك بدراسة جيومورفولوجية الرواسب السطحية وجيولوجية ما تحت السطح . فى حين عنيت الهيدرولوجيا التطبيقية بالبحث عن المياه الجوفية ودراسة التصريف المائى للابار وللمجارى النهرية السطحية ولمعرفة العوامل الجيومورفولوجية التى تتحكم فى ذلك . واهتمت الجيولوجيا الهندسية *Engineering geology* بدراسة العوامل الجيومورفولوجية التى تتحكم فى اختيار مواقع الخزانات و السدود المائية واختيار أنسب المواقع لاقامة المطارات ، وشق الطرق ، وحفر الأنفاق ، وتثبيت جوانب المنحدارات الجبلية منعا لحدوث عمليات الانهيار أو الانزلاق الأرضى .

أما علماء التربة *Pedologists* فيدركون بأن التربة الزراعية إما أنها تكونت محليا *In Situ* فى مواقعها ، أو أنها منقولة *Transported* بفعل عوامل النقل المختلفة من مواقع قد تكون بعيدة جدا عن مواقع تراكمها والمناطق المترسبة فيها حاليا . ومن ثم ينبغى التعرف على عوامل التعرية المختلفة لإيضاح التغيرات التى تتعرض لها تكوينات التربة الزراعية من وقت إلى آخر . وقد ساهم كثير من العلماء فى تخصصات مختلفة إلى جانب علماء الاقيانوغرافيا فى ايجاد الحلول ووضع المقترحات المناسبة للتغلب على مشكلة تآكل الشواطئ بفعل التعرية البحرية ، واختيار أنسب المواقع لإقامة الموانى

والثغور الملاحية . فى حين تستفيد العلوم العسكرية من دراسة جيومورفولوجية سطح الأرض وذلك لمعرفة أنسب المواقع لهبوط رجال المظلات ، واختيار أماكن انشاء المطارات الحربية الموقتة وحساب سرعة حركات الالات الميكانيكية (مثل السيارات ، والجرارات ، والدبابات) ، فوق مناطق سطح الأرض المختلفة (الرملية والحصوية والصخرية) بل وحساب القدرة اليومية لجندى المشاة فى الترجل فوق أسطح هذه الأراضى المختلفة . ومن ثم فإن ظروف قيام معركة حربية فى أراضى جيلدية تختلف عن تلك التى تحدث فى المناطق الجبلية أو فى مناطق المستنقعات أو فى المناطق الصحراوية الحارة الجافة . وينبغى على القيادات العسكرية أن تكون على دراية تامة بأثر مورفولوجية تلك الأراضى المختلفة فى القدرة والكفاءة الانتاجية للانسان من ناحية وعلى الآلة الميكانيكية من ناحية أخرى . وظهر فى الولايات المتحدة الأمريكية فرع جديد من الجيومورفولوجيا التطبيقية هو ما يعرف باسم الجيومورفولوجيا العسكرية *Military geomorphology* .

٤ - **مدرسة الجيومورفولوجيا المناخية** *Climatic geomorphology* :

تعرض المنهج الوصفى الدافيزى كما سبق القول لحملات عنيفة من النقد العلمى ونجم عن ذلك ظهور المنهج المورفومترى والذى منه انبثقت فلسفة المدرسة الجيومورفولوجية التطبيقية الحديثة . وقد بعدت هذه المدرسة الأخيرة إلى حد ما ـ عن فلسفة الدراسة الجيومورفولوجية والجغرافية العامة . وأدى ذلك إلى ظهور مدرسة جديدة حاولت بدورها تعزيز المنهج الدافيزى ، وعلاج نقاط الضعف فيه وإعادة الجيومورفولوجيا إلى الفسلفة الجغرافية المميزة لها والى مسلكها الطبيعى المألوف مع الاهتمام بدراسة العوامل التى تؤثر فى تكوين الظاهرات تحت ظروف مناخية مختلفة . وعلى ذلك اهتمت هذه المدرسة بدراسة المناخ وعناصره ، وأثر هذه العناصر فى تشكيل فعل عوامل التعرية واختلاف مداها من وقت إلى آخر فوق أجزاء سطح الأرض .

وقد سبقت الاشارة من قبل إلى المنهج الكمى وسندرس هنا بشئ من

التفصيل مفهوم المدرسة الجيوموفولوجية المناخية ، وذلك لما لها من أهمية فى الفكر الجيومورفولوجى المعاصر . كما يؤمن الباحث بأن هذه المدرسة الجيومورفولوجية تعد أقرب المدارس الفكرية إلى أذهان الجغرافيين عنها بالنسبة لبقية المدارس الفكرية الأخرى التى عالجت الجيومورفولوجيا المعاصرة .

مدرسة الجيومورلوفوجيا المناخية

Climatic Geomorphology

على الرغم من أن الجيومورفولوجيا المناخية نشأت كفرع جديد يعارض آراء دافيز إلا أن جذور هذا الفرع من العلم ترجع إلى كتابات وليم موريس دافيز عن الدورة التحاتية النهرية فى المناطق المعتدلة عام ١٨٩٩ *The temperate fluvial cycle* والدورة التحاتية فى المناطق الجافة عام ١٩٠٥ *The arid cycle* والدورة التحاتية فى المناطق الجليدية عام ١٩٠٠ ، ١٩٠٦ *The glacial cycle* كما أن وليم موريس دافيز أشار إلى بعض التغيرات المناخية التى يتعرض لها بعض أجزاء سطح الأرض خلال فترات زمنية مختلفة وما لها من أثر فى تشكيل سطح الأرض وأطلق على تلك التغيرات المناخية تعبير *Climatic accidents* . وقد عنى بدراسة هذا الموضوع الأستاذ كوتون *Cotton* فيما بعد . ولكن يؤخذ على دافيز بأنه عند تحليله الظواهر فى الصحارى الحارة الجافة مثلا اهتم بالتكوين الجيولوجى والبنية أكثر من عنايته بدراسة العوامل الخارجية التى تشكل ظواهر سطح الأرض وأقتصرت دراسته فى هذا الموضوع على دراسة مناطق الأحواض والهضاب الصدعية فى غرب الولايات المتحدة الأمريكية ومن ثم لا تتفق دراساته مع ماقد يتمثل فى مناطق الصحارى الجافة فى آسيا أو أفريقيا وقد أضاف الأستاذ كوتون *Cotton* عام ١٩٤٢ اقتراحات عن الدورة التحاتية فى مناطق السفانا ، وعدل بعض الشئ فى آرائه عام ١٩٦١

اهتمامات المدرستين الألمانية والفرنسية في الدراسة الجيومورفولوجية :

أول من استخدم تعبير الجيومورفولوجيا المناخية *Climatic geomorphology* هو الأستاذ دى مارتون *De Marton* الذى قام بالبحث الحقلى فى البرازيل عام ١٩٤٠ ودرس تشكيل ظواهر سطح الأرض التضاريسية تحت ظروف المناخ المدارى الحار الرطب .

وقد درس الأستاذ بيرو *Birot* (أحد تلاميذ دى مارتون) الظواهر الجيومورفولوجية تحت ظروف مناخ البحر المتوسط وتلك التى تتكون تحت ظروف المناخ الحار ، ووضع بعض الأسس المهمة فى علم الجيومورفولوجيا المناخية وخاصة في كتاباته الأخيرة عام ١٩٦٠ *"Le cycle d'erosion sous les differents climats"* .

ثم ظهرت دراسات الأستاذ تريكار وزميله كيليه عام ١٩٦٥ عن الجيومورفولوجيا المناخية ونقدها الشديد للدورة التحاتية الدافيزية (١) .

وقد عنيت المدرسة الألمانية الجيومورفولوجية بدراسة «العناصر» *Prcesses* التى تشكل ظواهر سطح الأرض المتشابهة تحت ظروف مناخية مختلفة . ومن بين هذه الدراسات تلك التى قام بها فورن رشتوفن *Von Richthofen* فى الصين ، وجيسن *Jessen* وبسارجه *Passarge* وثوربيك *Thorbecke* فى أفريقيا وسابر *Sapper* فى أمريكا الوسطى وفى ماليزيا . وحتى دراسات ألبرخت بينك *Albrecht benck* فى عام ١٩٠٥ و ١٩١٠ و ١٩١٤ اختلفت عن دراسات وليم موريس دافيز فى أنها اهتمت بتطور الظواهر التضاريسية تحت ظروف مناخية مختلفة . كما أنها أبرزت أهمية «العوامل» التى تشكل تلك الظواهر ولم تعتمد فقط على دراسة التركيب الجيولوجى لها ، وقد درس بينك وبروكنر *Penck & Bruckner* فى عام ١٩٠٩ أثر الذبذبات المناخية فى

(1) Tricart J & Cailleux,A., "Introduction à la geomorphologie Climatique" Paris, 1965.

تشكيل ظواهر سطح الأرض فى مرتفعات الألب الأوربية ، وقد ساعدت هذه الدراسات الأولية على ظهور آراء الأستاذ ترول *Troll, 1944* عن الظواهر شبه الجليدية ، وقد رجح هذا الباحث دورة تحاتية شبه جليدية *Periglacited cycle* فى عام ١٩٤٨ وقد طورها الأستاذ بلتير *Peltier* فى عام ١٩٥٠ . ودرس كل من هربرت لويس *H. Louis, 1959* وويلهامى *Withelmy, 1968* الظواهر الجيومورفولوجية فى العروض المدارية ، بينما درس جوليوس بيدل *Julius Budel, 1948 - 1963* الأقاليم المورفومناخية فى العالم *Grundriss der Klimageomorphologie* .

وتتلخص آراء المدرسة الألمانية المعاصرة عن الجيومورفولوجيا المناخية فى الدراسات الحديثة لكل من سوخو *Schou, 1963* وهولزينر وويفر *Holzener & Weaver, 1965* وقد ميز الأستاذ بيدل *Budel* مضمون الجيومورفولوجيا المناخية فى نقطتين هما :

أ – الجيومورفولوجيا المناخية *Climatic geomorphology*

ب – جيومورفولوجية نشأة الظواهر وعلاقتها بالمناخ *Climato - genetic geomorphology*

أ – وتتلخص النقطة الأولى فى أن أنواع المناخ المختلفة بما يتمثل فيها من عوامل تعرية خارجية مميزة فى كل مناخ تؤدى إلى نشوء ظواهر جيومورفولوجية خاصة بكل إقليم مناخى . ومن الدراسة الموضوعية لظواهر سطح الأرض فى تلك الأقاليم المناخية يمكن تقسيم سطح الأرض أو أى منطقة من سطح الأرض إلى أقاليم مورفومناخية (١) .

ب – أما النقطة الثانية فتوضح بأن المناخ خلال الزمن الثالث كان يختلف عن المناخ خلال الزمن الرابع وعن المناخ الحالى . وعلى ذلك تكونت ظواهر مورفومناخية قديمة تكونت فوقها ظواهر أو فرشات إرسابية

1- Stoddart, D.R., "Climatic geomorphology".. in "Progress in Geography" Volume 1 (1971) 161-222.

حديثة (تحت ظروف المناخ الحالي) . وقد يجد الباحث في هذه الحالة كثيرا من الظواهر المورفومناخية في منطقة ما في حالة شبه الثبات أو ظواهر مورفومناخية حفرية *fossil features* حيث إن المناخ الذي أدى إلى نشأتها في الماضي غير متمثل بنفس الدرجة خلال الوقت الحاضر . ومن ثم تتضمن تلك الدراسة معرفة التطور الجيولوجي للمنطقة والذبذبات المناخية التي تعرضت لها خلال تلك الفترات .

الأقاليم المورفومناخية

Morpho - climatic regions

من بين أهم الدراسات التي حاولت تقسيم العالم إلى أقاليم مورفومناخية تلك التي قام بها بلتير *Peltier, 1950* وليوبولد وزملاؤه في عام ١٩٦٤ . وقد عني بلتير بدراسة تأثير كل من المعدل السنوي لدرجة الحرارة والمعدل السنوي لكمية الأمطار ، وتأثيرهما على كل من فعل التجوية وعوامل التعرية في مناطق سطح الأرض المختلفة (١) .

وقد استنتج بالتير بأن فعل الصقيع *Frost action* يكون قويا في المناطق الباردة التي ينخفض فيها المتوسط السنوي لدرجة الحرارة عن ٢٠° وتتراوح كمية المطر السنوي فيها من ٢٠ - ٤٠ بوصة (شكل ٤) في حين يشتد فعل التجوية الكيميائية في المناطق الغزيرة الأمطار المرتفعة الحرارة ويقل هذا الفعل في المناطق الجافة (شكل ٥) ويشتد فعل التجوية الطبيعية في المناطق ذات المدى الحراري السنوي أو اليومي المرتفعين (شكل ٦) وأوضح بالتير بأن فعل زحف المواد يكون قويا في المناطق الغزيرة الأمطار والمرتفعة الحرارة (المناطق الاستوائية) وكذلك في المناطق المعتدلة (شكل ٧) ويضعف فعل

---

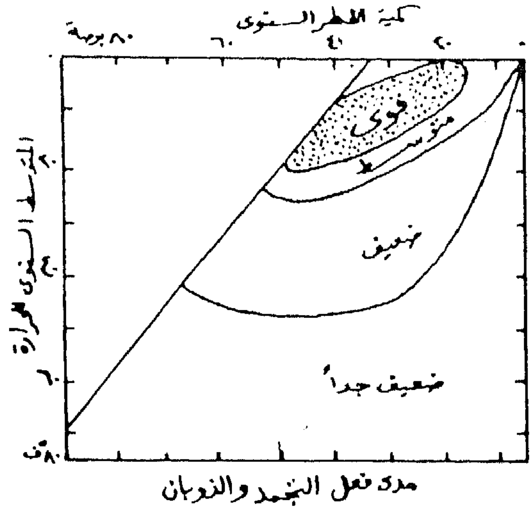
(1) a- Peltier,L.C., "The geographical cycle in Periglacial regions.." Ann. Ass. Amer. Geog. 40 (1950), 214-236.
b- Leopold, L.B.etal, "Fluvial Processes in geomorphology.." San Francisco (1964) pp. 522

زحف المواد فى المناطق الحارة الجافة . أما فعل الرياح فيشتد فى تلك المناطق الأخيرة الصحراوية ويضعف فى المناطق الغزيرة الأمطار (شكل ٨) وبلا شك يظهر فعل تساقط المواد فى المناطق ذات الأمطار السنوية المتوسطة الكمية ، مما يسمح بوجود أسطح منحدرات جبلية لا تغطيها النباتات وتتعرض بدورها لفعل تساقط الأمطار (شكل ٩) .

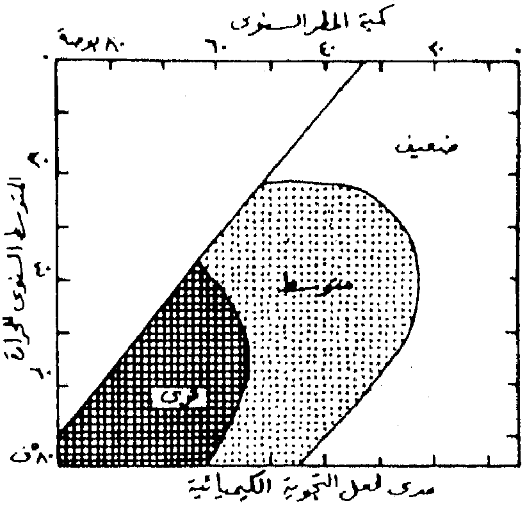
وقسم بالتير العالم إلى «أقاليم مورفوجينية» *Morphogenetic regions* تتنوع فيها الظواهر التضاريسية تبعا لتنوع المناخ والنبات الطبيعي والتربة وتتلخص تلك النتائج فى (شكل ١٠) وميز بالتير أقاليم مورفوجينية تتمثل فى الأقاليم الجليدية وشبه الجليدية والباردة *boreal* والمعتدلة ، والسافانا ، وشبه الصحراوية والصحراوية والبحرية والسلفا .

وقد اعتمد ليوبولد عام ١٩٦٢ وزملائه على نتائج دراسات بالتير عند تصنيفهم المناطق التى يشتد عندها فعل عوامل التجوية وعوامل التعرية .

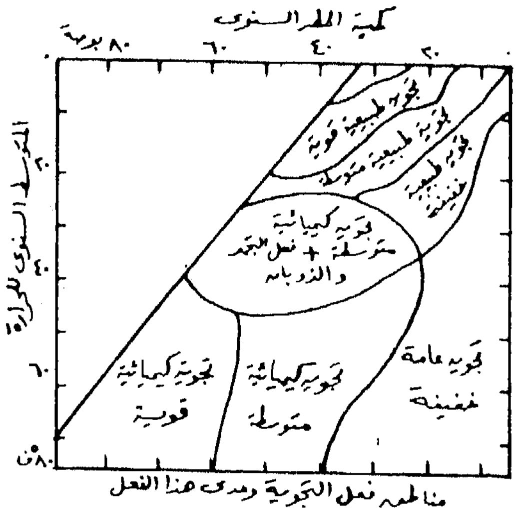
وقد واجهت دراسات بالتير كثيرا من النقد حيث انها اعتمدت أساسا على عناصر طبيعية حيوية محدودة وخاصة المطر ودرجة الحرارة والتربة ، كما أن تصنيفه للأقاليم المورفوجينية اعتمد على دراسات تخطيطية ذاتية *general impression* (شكل ١١) أكثر من اعتمادها على دراسات تحليلية كمية *quantitative analysis* . وقد استخدم تانر *Tanner, 1961* عناصر مناخية جديدة عند تصنيفه العالم إلى أقاليم مورفوجينية . فقد استخدم القيمة الفعلية للتبخر *potential evaporation* (بدلا من المعدل السنوى لدرجة الحرارة عند بالتير) على أساس أن العلاقة بين التساقط والتبخر تعطى معلومات أدق عن المياه المتمثلة *water availability* على سطح الأرض هذا إلى جانب استخدامه لعنصر التساقط ، ومن ثم فإن تقسيم «تانر» لا يمثل سوى تعديل بسيط فى الأقاليم المورفوجينية التى رجحها بالتير من قبل (شكل ١٢) .



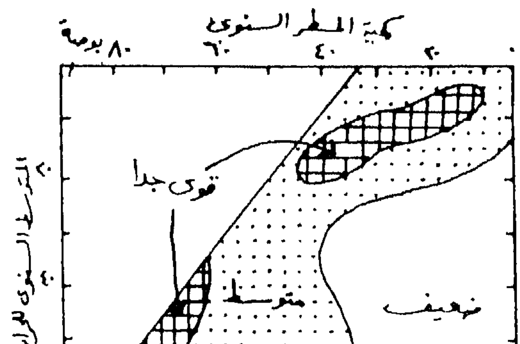
شكل (٤) مدى أثر فعل الصقيع أو التجمد والأنصهار
(حسب دراسات بالتير)



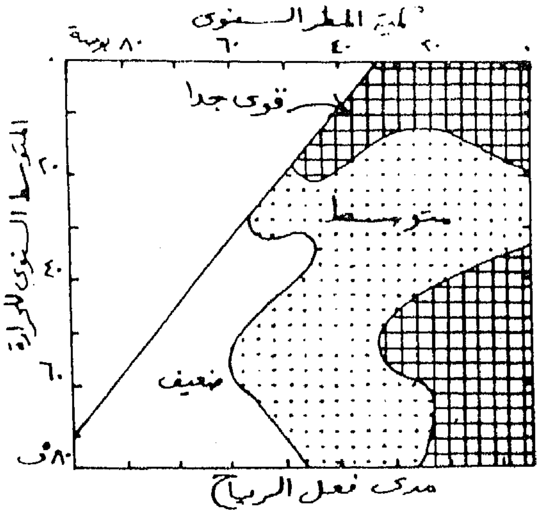
شكل (٥) مدى أثر فعل التجوية الكيميائية
(حسب دراسات بالتير)



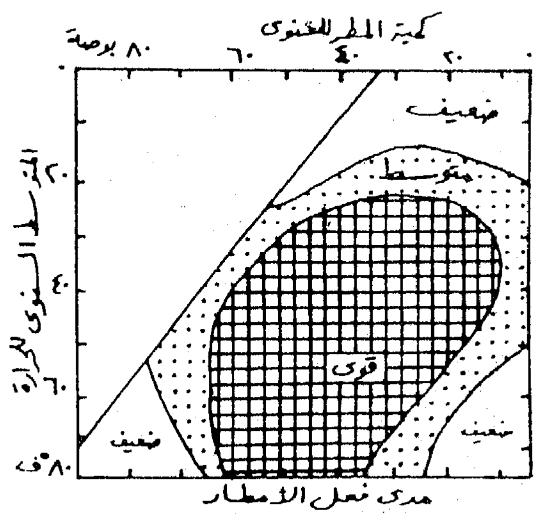
شكل (٦) مدى أثر فعل التجوية الكيميائية والتجوية الطبيعية معا
(حسب دراسات بالتير)



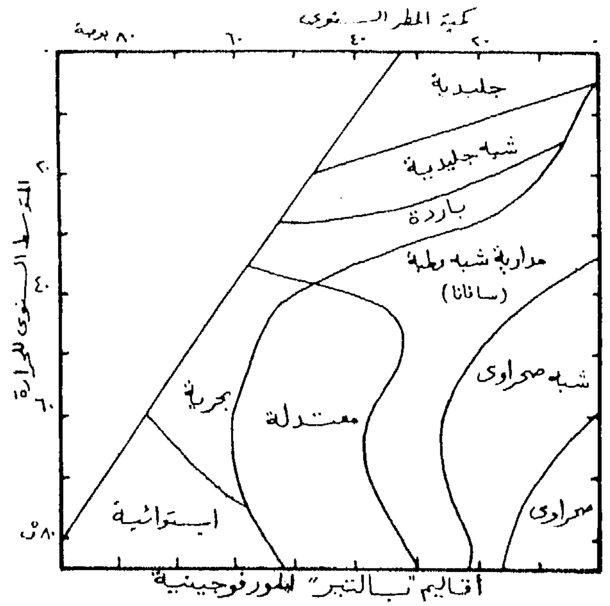
شكل (٧) مدى أثر فعل زحف المواد
(حسب دراسات بالتير)



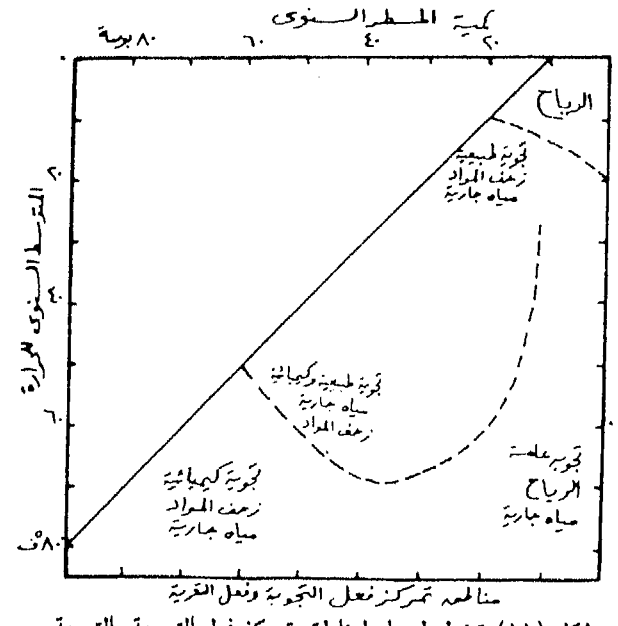
شكل (٨) مدى أثر فعل الرياح
(حسب دراسات بالتير)



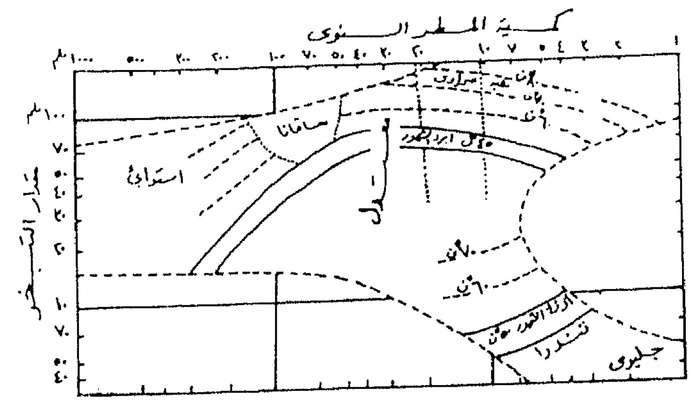
شكل (٩) مدى أثر فعل الأمطار
(حسب دراسات بالتير)



شكل (١٠) الأقاليم المورفوجينية Morphogentic
(حسب دراسات بالتير)



شكل (١١) تخطيط عام لمناطق تمركز فعل التجوية والتعرية
(حسب دراسات بالتير)



شكل (١٢) حدود الأقاليم المورفوجينية وأبعادها
(حسب دراسات تانر)

وقد بذلت محاولات عديدة لدراسة أشكال سطح الأرض تحت ظروف مناخية وتقسيم سطح الأرض الى أقاليم مورفومناخية تتنوع فيها الظواهر التضاريسية تبعا لتنوع المناخ السائد ، من بين هذه المحاولات دراسات بيدل *Budel* الذى اقترح تقسيمين ، الأول كان فى عام ١٩٤٨ والثانى فى عام ١٩٦٣ ويتلخص كل منهما فيما يلى :

تقسيم بيدل عام ١٩٤٨	تقسيم بيدل عام ١٩٤٦٣
١ – الأقاليم الجليدية ٢ – أقاليم تتأثر بمفتتات فعل التجمد والانصهار ٣ – أقاليم التندرا ٤ – أ – مناطق بحرية ب – مناطق التربة شبه المتجمدة جـ – مناطق التربة المتجمدة *tjale* د – مناطق قارية هـ – مناطق استبس ٥ – مناطق البحر المتوسط الانتقالية ٦ – مناطق الأراضى الجافة أ – مناطق البديمنت الصحراوية والتلال المنعزلة المدارية ب – مناطق شبه الجافة الصحراوية جـ – مناطق صحارى العروض العليا ٧ – مناطق غسل الأرض (السفانا المدارية) أ – مناطق مدارية ب – ممناطق شبه مدارية ٨ – مناطق استوائية	١ – الأقاليم الجليدية (العروض العليا والقمم الجبلية المرتفعة) ٢ – أقاليم الأودية العميقة (مناطق التربة المتجمدة) ٣ – مناطق مدارية (فى العروض المتوسطة) ٤ – مناطق شبه مدارية يتمثل فيها ظواهر البديمنت ٥ – مناطق التعرية فى العروض المدارية الرطبة

ويلاحظ أن التقسيم الأول للأستاذ بيدل اعتمد على تصنيف سطح الأرض الى أقاليم مناخية وأقاليم مورفولوجية مجتمعة . أما تقسيمه الثانى فكان تقسيما مورفولوجيا يظهر فيه أثر العوامل المناخية على تلك الأقاليم . ومن دراسته لهذين التقسيمين استطاع بيدل أن يرسم خريطة للأقاليم المورفومناخية في العالم *Kila - morphologischen Zoness* (شكل ١٣) غير أن هذه الأقاليم المورفومناخية تضمنت الكثير من التعميم . فقد اعتبر هذا الباحث أن قارة أوربا ووسط آسيا يقعان ضمن نطاق واحد هو مناطق فيما وراء المدارين ولكن حاول بيدل عند دراسته لتشكيل ظواهر سطح الأرض فى تلك الأقاليم المورفومناخية أن يميز بين أثر المناخ القديم والمناخ الحالى فى تشكيل الظواهر التضاريسية فى كل إقليم مورفومناخى (١) .

ويمكن مقارنة تقسيم الأقاليم المورفومناخية لبيدل عام ١٩٦٣ بتلك التى رجحها كل من تريكار وكيليه *Tricart & Cailleux 1965* .

ونلاحظ أن هذين الباحثين استخدما العناصر الجوية بل والمناخ القديم *Palaeoclimatie characteristic* عند تصنيف سطح الأرض الى أقاليم موفومناخية وأثر كل هذه العناصر مجتمعة (خاصة تأثير الظروف المناخية والغطاء النباتى والتربة) فى تشكيل الظواهر الجيومورفولوجية العامة للإقليم المورفومناخى بخصائص مميزة تجعله يختلف مورفولوجيا عن غيره من الأقاليم الأخرى . على ذلك ظهرت خريطتهما على شكل مناطق يتمثل فيها عوامل تؤثر فى شكل ظواهر الأرض بدلا من تقسيم سطح الأرض الى مناطق بها ظواهر متنوعة (شكل ١٤) وتتضمن خريطتهما ١٣ إقليما هى :

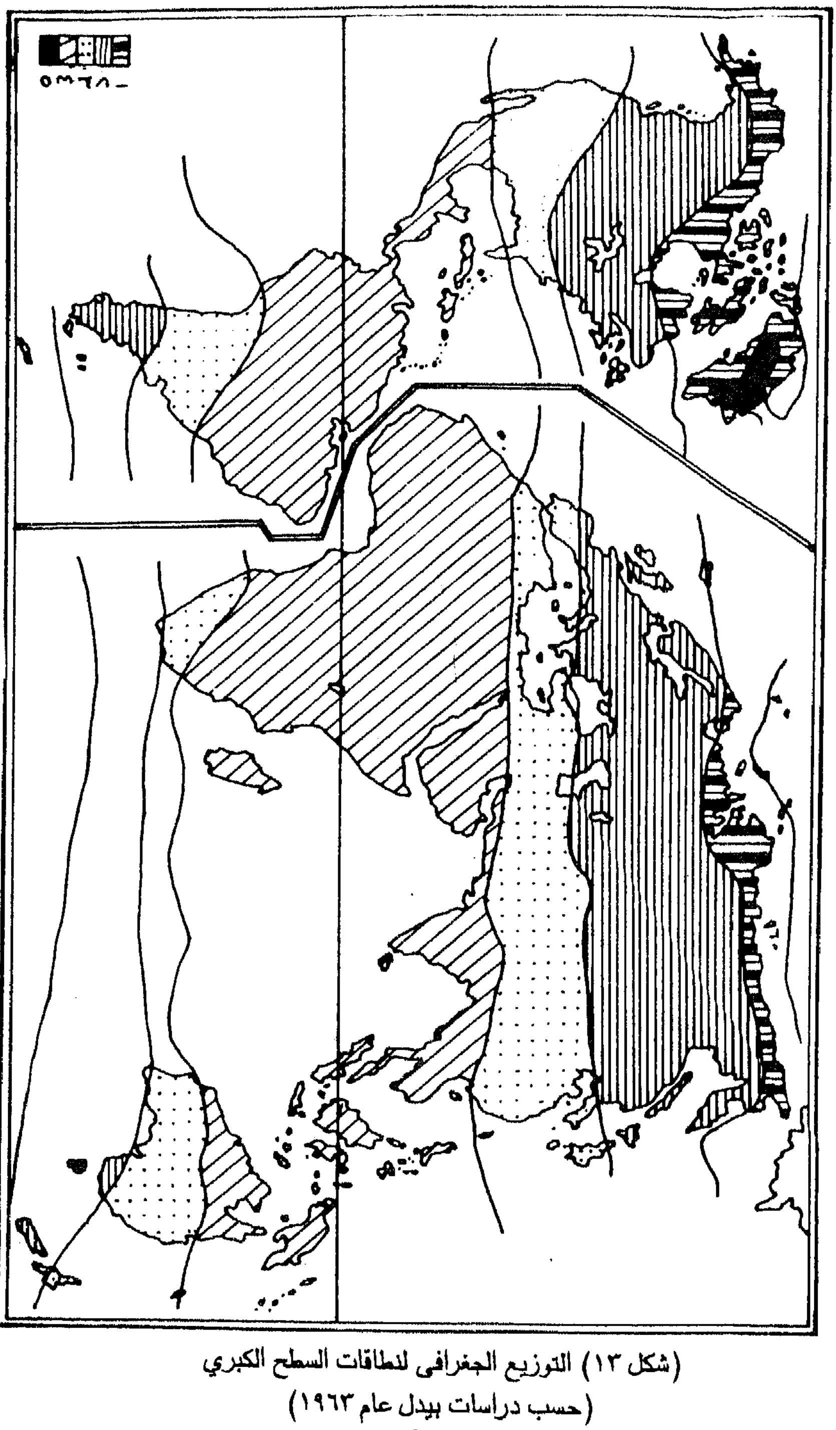
١ - مناطق جليدية *Permafrost* .

٢ - مناطق شبه جليدية بها تربة دائمة التجمد .

٣ - مناطق شبه جليدية لا يوجد بها تربة متجمدة .

---

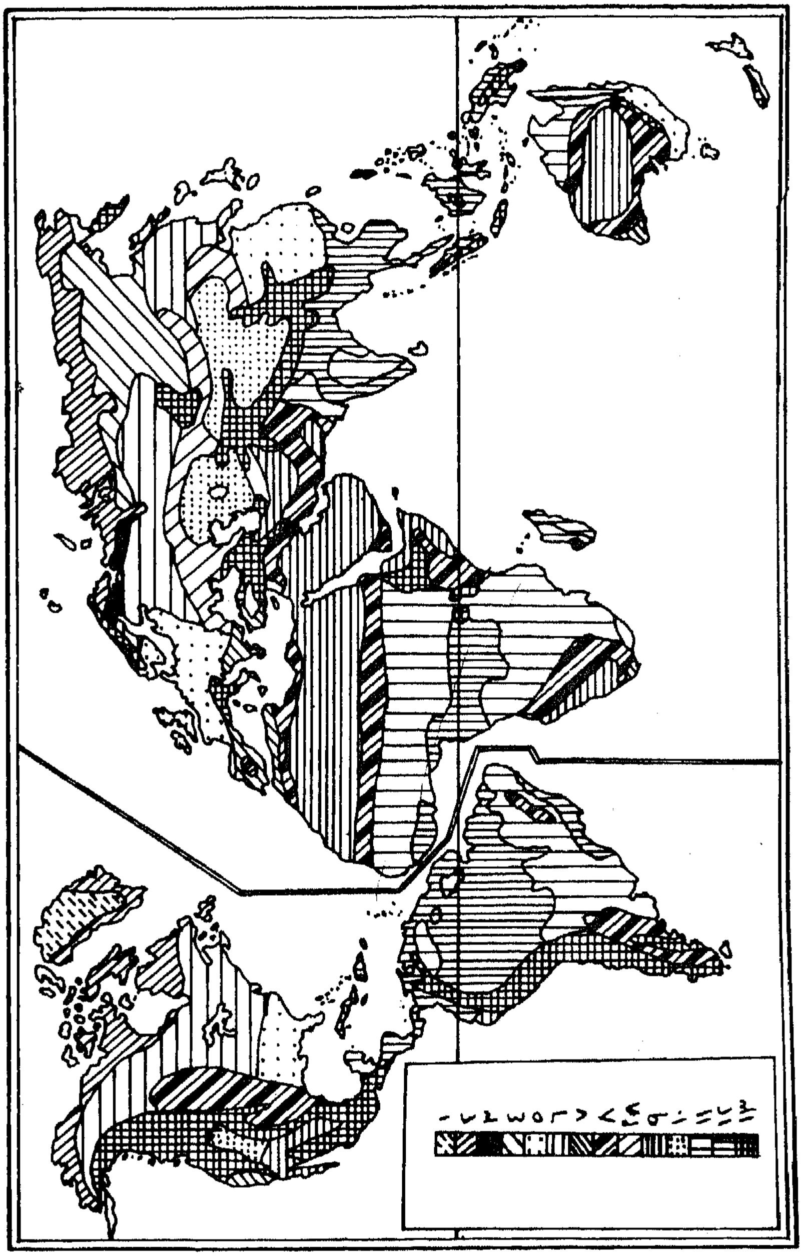
(1) Büdel,J., "Klima - genetische Geomorphologie", Geographische Rundschau, 15 (1963), 269-285



(شكل ١٣) التوزيع الجغرافي لنطاقات السطح الكبري

(حسب دراسات بيدل عام ١٩٦٣)

١ - مناطق تكوين أودية ٢- مناطق تكوين أودية خارج المدارين ٣- مناطق تكوين البديمنت شبه المدارية ٤- مناطق تعرية مدارية ٥- مناطق الثلاجات



(شكل ١٤) الأقاليم المورفومناخية
(حسب دراسات تريكار وكيليه عام ١٩٦٥)

٤ - غابات تنتشر فوق مناطق التربة المتجمدة البلايوستوسينية .

٥ - غابات العروض المعتدلة (ذات مناخ بحري) .

٦ - غابات العروض المعتدلة (ذات شتاء قارص البرد) .

٧ - غابات العروض المعتدلة (مناخ بحر متوسط) .

٨ - استبس شبه جاف .

٩ - صحارى وهوامش الاستبس .

١٠ - صحارى وهوامش الاستبس الجاف (شتاء قارص البرد) .

١١ - السافانا .

١٢ - غابات استوائية .

١٣ - مناطق الجبال .

أما الأستاذ ستراخوف *Strakhov, 1967* فعنى بإيضاح المناطق التى يتمثل فيها فعل التجوية معتمداً فى ذلك على دراساته التحليلية للتربة فى مناطق سطح الأرض المختلفة . وقد أوضح ستراخوف بأن فعل التجوية الكيميائية يشتد فى مناطق التايجا وتربة البدزل وكذلك فى مناطق الغابات المدارية الرطبة .

وقسم ستراخوف [1] أراضى العالم على أساس العلاقة بين تنوع الظروف المناخية والمفتتات الارسابية الى «مناطق مورفوجينية» تختلف من حيث درجة التجوية *rate of weathering* وميز ستراخوف خمسة أقاليم كبرى لفعل التجوية فى العالم وبعضها قد ينقسم الى أقاليم ثانوية تشتمل ما يلى (شكل ١٥) :

١ - مناطق الارسابات الجليدية .

٢ - مناطق الارسابات الصحراوية الجافة .

٣ - مناطق ذات نشاط تكتونى يكاد لا يتمثل بها رواسب .

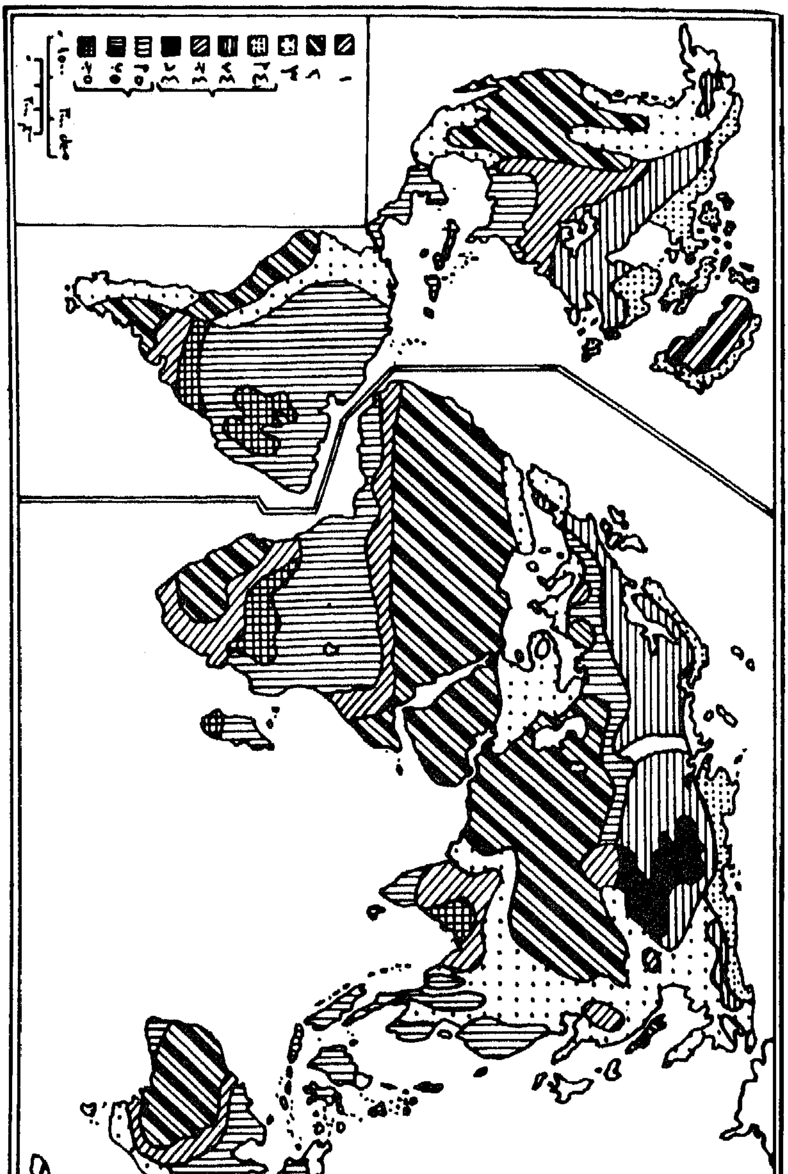
(1) Strakhov, N.M., "Principles of Lithogenesis vol.1, (1967) Oliver and Boyd.

٤ – مناطق المناخ المعتدل الرطب : وتنقسم الى :
أ – المناطق الشمالية ، وفيها التجوية الكيميائية ضعيفة تبعا لانخفاض درجة الحرارة .
ب – المناطق الوسطى وفيها التجوية متوسطة .
جـ – المناطق الجنوبية وفيها التجوية الكيميائية ضعيفة لقلة كمية الأمطار الساقطة .
د – مناطق مرتفعة يقل فيها فعل التجوية الكيميائية تبعا لمدى التضرس .
٥ – مناطق المناخ المدارى الرطب : وتنقسم الى :
أ – مناطق التجوية الكيميائية فيها ضعيفة لقلة الأمطار الساقطة .
ب – مناطق التجوية الكيميائية فيها شديدة .
جـ – المناطق الهامشية للتجوية الكيميائية الشديدة .

ويذكر الأستاذ ستودارت *D. R. Stoddart* بأنه من السهل تمييز الأقاليم المورفومناخية الجليدية والجافة وشبه الجليدية فى العالم ولكن هناك كثير من المعوقات قد تواجه الباحث عند تصنيف الأقاليم المورفومناخية الأخرى مثل تلك فى العروض المدارية الرطبة حيث أن صورتها الجيومورفولوجية غير متكاملة وتتنوع مظاهرها تبعا للاختلافات المحلية وعلى ذلك فقد أجريت بعض المحاولات مستخدمة الأسس الكمية عند تمييز الأقاليم المورفومناخية غير المحددة المعالم مثل تلك التى قام بها زكارزفسكا *Zakrzewska, 1967* وبالتير *Peltier, 1962* .

تقييم مدي فعل عوامل التعرية في الأقاليم المورفومناخية :

تهتم الدراسات الجيومورفولوجية المعاصرة بدراسة تنوع فعل التعرية فى أقاليم سطح الأرض المختلفة وذلك باستخدام الأساليب الكمية لدراسة أشكال منحدرات سطح الأرض وأنواع الرواسب التى تتجمع فى المجارى والأودية النهرية وأحجامها ، والمؤثرات الحديثة التى تشكل ظواهر سطح الأرض ، هذا



(شكل ١٥) مناطق التجوية فى العالم
(حسب دراسات ستراخوف عام ١٩٦٧)

الى جانب تقسيم سطح الأرض الى وحدات مورفومناخية وتتميز كل وحدة منها تحت ظروف مناخ سائد تتألف من مظهر تضاريسى مميز وتكاد تتشكل كلية بواسطة عوامل تعرية وتجوية محددة . ومن بين هذه الدراسات المعاصرة نجدها فى كتابات راب *Rapp, 1960* وجان *Jahn, 1961* فى المناطق شبه الجليدية ، وروجرى *Rougerie, 1960* ودوجلاس *Douglas, 1965* فى المناطق المدارية الرطبة ، وأبحاث تتضمن دراسة مناطق واسعة من سطح الأرض نجدها خاصة فى كتابات لانجلين ، وشونيم *Langlein and Schunim, 1958* ومنارد *Menard, 1961* وجودسون وريتر *Judson & Ritter, 1964* وكوربل *Corbel, 1959, 1964* وفورنيه *Fournier, 1960* وستراخوف *Strakhov, 1960* .

وقد لخص كوربل *Corbel, 1964* أثر فعل التعرية ومداه فى الأقاليم المورفومناخية المختلفة والتى أعتمد عند تصنيفها الى إستخدام الموقع الفلكى (دوائر العرض) إلى جانب إختلاف درجات الحرارة وكمية المطر (وميز ثلاثة أقاليم على أساس إختلاف كمية مايسقط عليها من التساقط) ويتضح أن البيانات الخاصة بمدى فعل التعرية ترمز إلى حركة المواد من الأرض إلى البحر وأوضحها بالمقدار متر مكعب فى الكيلومتر المربع سنوياً (م٣/كم٢ سنة) وهذه تتناسب مع انخفاض سطح الأرض بمعدل ١م/ ١١٠ سنة) وتتلخص نتائج كوربل فى الجدول الآتى بيانه . ومن دراسة هذا الجدول يتضح كذلك ان مدى فعل التعرية يختلف عكسياً مع الحرارة فى المناطق الرطبة ويقل فعل التعرية فى المناطق الرطبة إذا ماكانت المناطق المدارية المرتفعة الحرارة فى حين يزداد فعل عوامل التعرية فى المناطق الرطبة الباردة .

أما فى المناطق المدارية فيختلف مدى فعل التعرية تبعاً للرطوبة حيث يشتد فى المناطق الأكثر رطوبة ويقل فى المناطق الجافة ، ويزداد فعل التعرية بالنسبة للمناطق المدارية والمناطق الرطبة فوق الجبال المرتفعة عنها فى المناطق السهلية . ويلاحظ من دراسة جدول «كوربل» أنه عند ضرب قيمة

حجم الصخور المنحوته بفعل عوامل التعرية فى مساحة كل إقليم يمكن أن نحصل على القيمة الكلية لفعل التعرية فى الاقاليم المختلفة بل والعالم . وقد لخص هذه النتيجة فى جدول آخر حيث أوضح أن مدى فعل التعرية فى المناطق غير الجليدية يبلغ نحو ١٨,٣ م٣/كم٢/سنة . وطبقاً لهذا التقدير تصبح المناطق المدارية (فيما عدا الجبلية منها) ذات بيانات سالبة *Negative* اى اقل من التقدير السابق للتعرية فى المناطق غير الجليدية (وهو ٢٨,٣ م٣) بينما نلاحظ ان المناطق المعتدلة والباردة تصبح مناطق ذات بيانات موجبة *Positive* حيث يزيد فيها مدى فعل التعرية عن (٢٨,٣م٣) وذلك فيما عدا المناطق الجافة المستوية السطح فى العروض المعتدلة . ويشتد مدى فعل التعرية فى المناطق الجبلية ويقل فى المناطق المستوية السطح (شكل ١٦ وشكل ١٧) .

واعتمدت دراسات كوربل عند تقسيمة مناطق سطح الأرض التى يختلف فى كل منها مدى فعل عوامل التعرية على أساس بعض العناصر المناخية والمورفولوچية العامة .

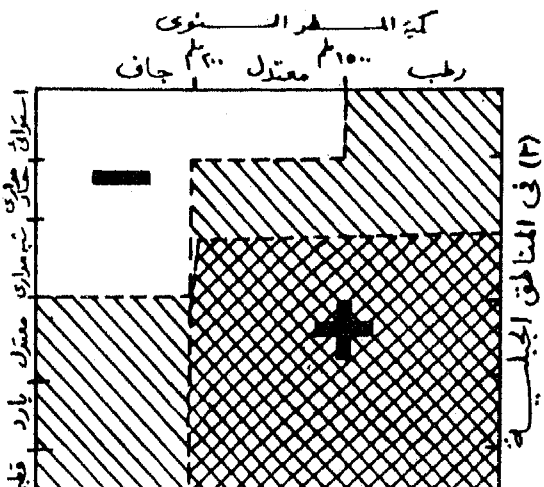
وعلى أساس اختلاف كمية التساقط فى النطاقات الحرارية المختلفة أوضح كوربل بأن الأحواض النهرية *Drainage basins* تختلف اعدادها من إقليم إلى آخر كما تختلف كذلك فيما بين المناطق الجبلية والمناطق السهلية ، ولخص ذلك فى الجدول الآتى : (تبعاً للبيانات التى اعتمد عليها فى المناطق المدارية بشأن عدد الأحواض النهرية فيها) :

ومن دراسة هذا الجدول العام لتمثيل عدد الأحواض النهرية فى الأقاليم

الاقاليم	فى المناطق الجبلية	عدد الأحواض النهرى فى المناطق السهلية
البـاردة	٢٣	١٦
المعتدلـة	–	١٨
الحارة الجافـة	٨	٦
الحارة الرطبـة	١	٨

المناخية المختلفة يتضح ان الأقاليم الباردة تتركز فيها الأحواض النهرية وقد تكون صغيرة المساحة فى المناطق الجبلية منها فى حين تتركز الأحواض النهرية فى مناطق السهول فى كل من الأقاليم الحارة الرطبة والاقاليم المعتدلة .

وتجدر الإشارة بأن اعداد هذه الأحواض النهرية فى الأقاليم المختلفة عامة والأقاليم الحارة الجافة خاصة اعتمدت على البيانات التى جمعها كوريل فى مناطق محددة لاتمثل الصورة الفعلية لسطح الأرض ، كما أن الحوض النهرى قد تختلف مساحته من حوض الى آخر ومن ثم لاتظهر هذه الاختلافات إلا بالدراسة التفصيلية المحلية لمناطق سطح الأرض .



(شكل ١٦) مؤشرات مدى فعل التعرية فى المناطق الجبلية
(حسب دراسات كوريل)

مدى فعل التعرية فى الأقاليم المختلفة (م٣/كم٢/سنة)

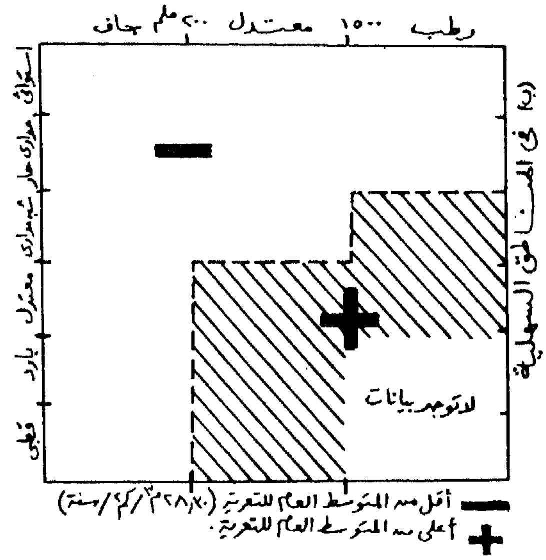
المنــــــــاخ	مناطق جافة		مناطق معتدلة		مناطق رطبة	
	أقل من ٢٠٠ مم مطر سنوي		من٢٠٠–١٥٠٠ مطر سنوي		أكثر من ١٥٠٠ مم مطر	
	جبال	سهول	جبال	سهول	جبال	سهول
المناطق الحارة :						
فيما بين ١٥ شمالاً–١٥° جنوباً	١,٠	٠,٥	٢٥	١٠	٣٠	١٥
المناطق المدارية :						
فيما بين ١٥° – ٢٣° شمالاً وجنوباً	١,٠	٠,٥	٣٠	١٥	٤٠	٢٠
مناطق شبه مدارية :						
درجة الحرارة أعلى من ١٥° م فى أى شهر .	٤	١	١٠٠	٢٠	١٠٠	٣٠
المناطق المعتدلة :						
درجة الحرارة من صفر°م –١٣°م	٥٠	١٠	١٠٠	٣٠	١٥٠	٤٤٠
المناطق الباردة :						
أقل من صفر°م	٥٠	١٥	١٠٠	٣٠	١٨٠	–
المناطق القطبية :	٥٠	١٥	١٠٠	٣٠	١٥٠	–
المناطق الجليدية القطبية	٥٠		١٠٠٠		٢٠٠٠	
المناطق الجليدية غير القطبية	–		–		٢٠٠٠	

جملة فعل التعرية فى أقاليم العالم

(م٣/١٠٦) فى السنة حسب دراسات كوربل[١]

الأقاليم	الجافة	المعتدلة	الرطبة	الجملة
(١) الأقاليم الحارة				
أ- الاستوائية	١,٠	٣٠٠,٠	٥٢,٥	٣٥٣,٥
ب- مابين المدارين	٣,٧	٢٢٥,٠	٢٠,٠	٢٤٨,٧
جـ- شبة مدارية	١٩,٠	٣٦٠,٠	٨٠,٠	٤٥٩,٠
الجملة	٢٣,٧	٨٨٥,٠	١٥٢,٥	١٠٦١,٠
(٢) الأقاليم المعتدلة	١٧٥,٠	١٠٥,٠	٣٢٥,٠	١٥٥٠,٠
(٣) الأقاليم الباردة				
شبه قطبي	٧٠,٠	٥٥٠,٠	٩٠,٠	٧١٠,٠
قطبي	٧٧,٥	٣٥٠,٠	٧٥,٠	٥٠٢,٥
الجملة	١٤٧,٥	٩٠٠,٠	١٦٥,٠	١٢١٢,٥
جملة مدى التعرية فى المناطق غير الجليدية	٣٤٦,٠	٢٨٣٥,٠	٦٤٢,٥	٣٨٢٣,٧
جملة مدى التعرية فى المناطق الجليدية	٥٥٠,٠	٤٠٠٠,٠	٢٠٠,٠	٤٧٥٠,٠

(1) Corbel,J., "L'erosion terrestre..."Annales de Geographie, 73 (1964), 385-412.



(شكلا ١٧) مؤشرات مدي فعل التعرية في المناطق السهلية
(حسب دراسات كوربل)

وقد أهتم الأستاذ فورنييه *Fournier 1960* (١) بدراسة العلاقة بين حجم الرواسب المعلقة فى مياه الأنهار بنوع المناخ وذلك بدراسته لعدد ٧٨ حوضاً نهرياً تختلف مساحة كل منها من ٢٤٦٠ الى ١,٠٦٠,٠٠٠ كم٢ وقد استخدم عدة رموز تتلخص فيما يلى :

- حجم الرواسب *Sediment Yield* وكمية المطر السنوى P .
- حجم المياه الجارية بالمم b .
- تردد حدوث المطر *rainfall frequency* $\frac{P}{n}$

حيث إن n تمثل عدد الأيام الممطرة

- التوزيع الفصلى للأمطار $\frac{S}{P}$

(1) Fournier, F., "Climat et érosion..." Paris, Presses Universitaires de France (1960) pp.201 .

حيث إن S تمثل الامطار فى الفصل الغزير المطر

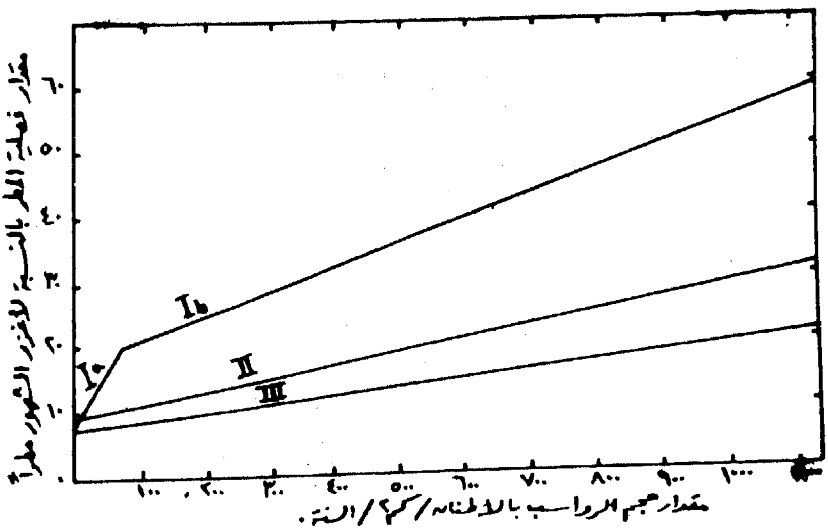
- مقدار فصيلة المطر *Seasonality weighted for magnitude* $\frac{S^2}{P}$
- فصيلة المطر (بالنسبة للمطر فى أغزر ثلاثة شهور) $\frac{\Sigma}{P}$
- مقدار فصيلة المطر $\frac{\Sigma^2}{P}$

ومن ثم أوضح فورنيية بأن المناخ يؤثر فى حجم الرواسب التى تحملها المجارى النهرية وخاصة الرواسب المعلقة وعند مقارنة حجم الرواسب المعلقة *Suspended sediment yield* ومقدار فصيلة المطر بالنسبة لكمية المطر فى أغزر شهور السنة $\frac{b^2}{P}$ يتبين أن الأحواض النهرية يمكن أن تنقسم إلى ثلاث مجموعات هى :

١- أحواض نهرية ذات تضرس بسيط *low relief* .

٢- أحواض نهرية ذات تضرس شديد *high relief* فى المناخ المعتدل .

٣- أحواض نهرية ذات تضرس شديد فى المناخ شبه الجاف (شكل ١٨) .



(شكل ١٨) دليل التضرس أو العلاقة بين مقدار حجم الرواسب ومقدار فصلية المطر (حسب دوامات فورنييه)

وعلى أساس هذه العلاقات استنتج فورنييه *Fournier* ماأسماه «دليل التضرس» *Relief index* ويتلخص فى المعادلة الآتية

$$Cm = \bar{H} \tan \theta$$

حيث إن :

Cm = دليل التضرس

$\bar{H}$ = متوسط ارتفاع المنطقة

$\tan \theta$ = ظل زاوية متوسط الانحدار فى حوض النهر .

وقد أوضح بأن دليل التضرس فى المنحنى Ia اقل من ٦ .

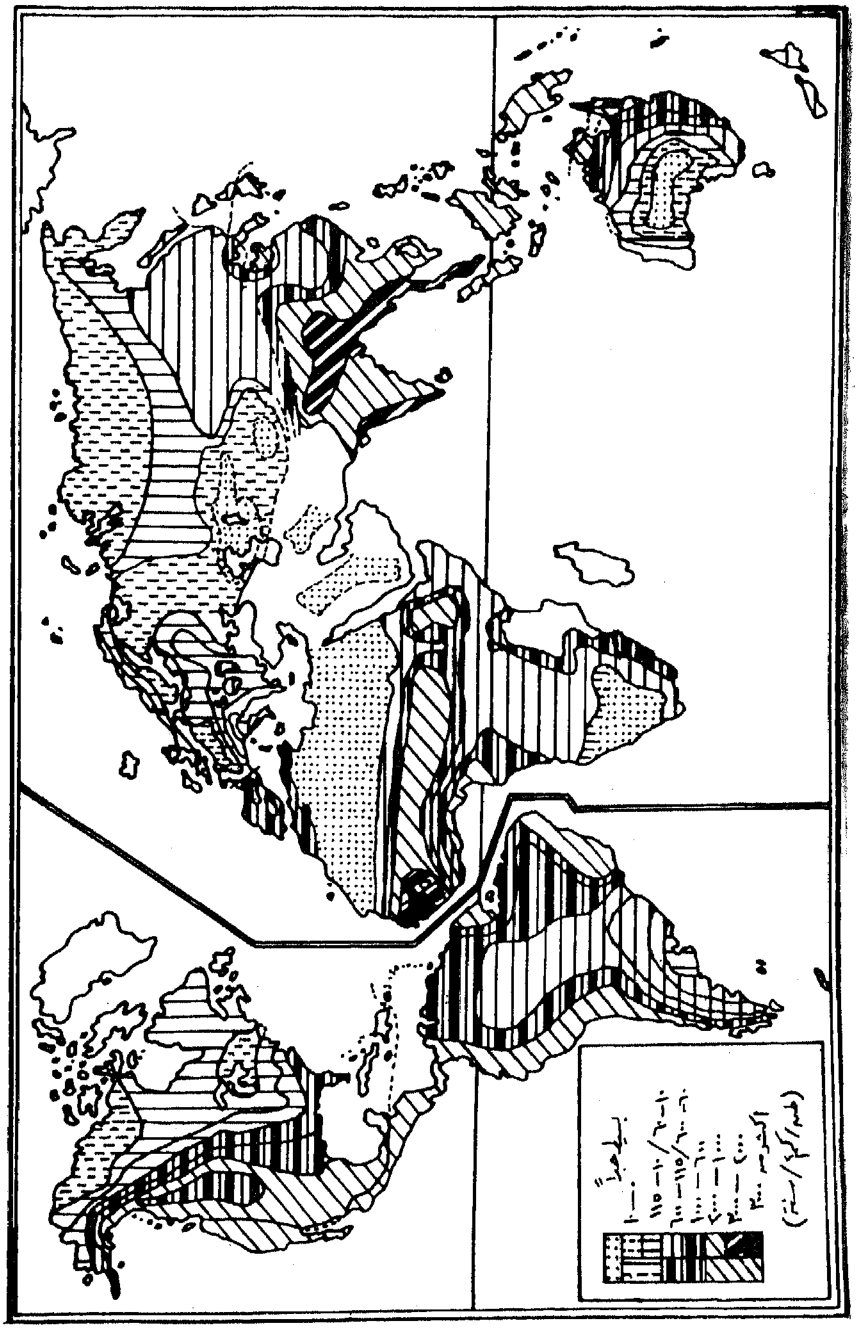
فى حين انه فى المنحنى II والمنحنى III فى الشكل ١٨ أكبر من ٦ .

وقد ذكر فورنييه بأنه بالنسبة للمنحنى Ia حيث يقل مقدار حجم الرواسب وفصلية أغزر الشهور مطراً فإن الحوض النهرى يتكون فى منطقة معتدلة المناخ (حيث أن مقدار فصيل أغزر الشهور مطراً $\frac{b^2}{P}$ اقل من ٢٠) .

أما بالنسبة للمنحنى Ib فإن مقدار فصلية أغزر أشهر السنة مطراً ($\frac{b^2}{P}$) أكثر من ٢٠ . وأن الحوض النهرى يتكون فى مناطق مدارية أو شبه مدارية أو شبه جافة .

وقد تمكن فورنيه من رسم خريطة للعالم موضحاً عليها مناطق التعرية ومقدار المواد الارسابية فى المجارى النهرية فى مناطق العالم المختلفة (شكل١٩) وقد حسب كذلك مقدار حجم الرواسب فى قارات العالم المختلفة كما يتضح من الجدول الآتى :

القـــــــــارات	مقدار حجم الرواسب طن/كم٢/سنة	مقدار حجم الرواسب طن/كم٢/سنة
أوروبـــــــا	٨٤	٦٠
آسيــــــــا	٦١٠	٤٢٥
أفريقيـــــــا	٧١٥	٥١٠
أمريكا الشمالية وأوروبا الوسطي	٤٩١	٣٥٠
أمريكا الجنوبيـــة وجزالانتيـــل	٧٠١	٥٠٠
أستراليـــــا	٢٧٣	١٩٥
متوسط العالم	٥٧١	٤٠٧



(شكل ١٩) مدى فعل عوامل التعرية فى مناطق العالم المختلفة
(حسب دراسات فورنييه)

وعلى عكس النتائج التى رجحها كوربل *Corbel* من قبل ، نجد أن فورنييه *Fornier* استنتج بأن أعلى مقدار للتعرية يتمثل فى المناطق المدارية الموسمية الرطبة ، ثم تقل فى المناطق الاستوائية (حيث لايوجد بها «فصلية» ، وتقل كذلك فى المناطق الجافة حيث تقل كمية المياه فيها . ومع ذلك فإن الرواسب التى تنقل فى الصحارى لمسافة طويلة يبلغ مقدارها فى حسابات فورنييه «صفر» ثم يرتفع مقدار التعرية فى مناطق البحر المتوسط الممطرة شتوياً ، إلا أنها تنخفض كذلك فى المناطق المعتدلة والرطبة السهلية (ترتفع نسبياً فى المناطق الجبلية من هذا الإقليم) .

وتشبه خريطة فورنييه تلك الخريطة التى قام بإنشائها الاستاذ ستراخوف *Strakhov 1957* من قبل وقد اعتمد هذا الاستاذ الأخير عند رسم خريطة اقاليم التعرية فى العالم وكمية المواد الارسابية الناتجة عن فعل عوامل التعرية فى كل إقليم منها على أساس البيانات الخاصة بكمية الرواسب والمفتتات المنصرفة فى الأحواض النهرية *sediment discharge* ولكن القيمة المطلقة لعوامل التعرية *absolute value of erosion* التى توصل إليها كل منهما تختلف فيما بينها من حيث الحجم او المدى *magnitude* تبعاً للدراسات التى قام بها كل باحث ، وتتضح هذه الحقيقة بمقارنة النتائج التى حصل عليها فورنييه على خريطته بتلك التى حصل عليها ستراخوف ودونها على خريطته (شكل ١٥ وشكل ١٩) وقد استخدم ستراخوف بيانات عن مقدار حصيلة الرواسب *sediment yield* وعن التصريف المائى التى جمعها الاستاذ لوبتن *G.V. Lopatin* من ٦٠ نهراً وكان يختلف حجم *drainage area* الحوض النهرى (فى هذه البيانات) من حوض مائى إلى آخر من ١٣,٤ إلى ٧٠٥٠ × ١٠٢ كم٢ ، وتختلف فى حجم التصريف المائى *discharge* من ١١ إلى ٣١٨٧,٥ كم٣/سنة . وتختلف فى مقدار الرواسب من ٠,٨٢ إلى ١٠٠٠ × ١٠٠٦ طن/سنة . وقد أرجع ستراخوف الاختلاف الاساسى فى حجم الرواسب فى الانهار إلى المؤثرات المناخية .

المناخ وتطور مراحل التعرية

أصبحت فكرة أن كل إقليم مناخى يتمثل فيه مجموعة خاصة *unique set* من ظواهر سطح الأرض فكرة شائعة الإنتشار ، وعلى ذلك حاول أنصار المدرسة الجيومورفولوجية ـ المناخية ايضاح أن المناخ يميز كل إقليم تضاريسى فى الوقت الحاضر ويجعل له «شخصية مورفورجينية» *morphogenetic* أو بمعنى آخر شخصية مورفومناخية *morphoclimatic personality* بارزة تميزه عن غيره من الأقاليم المورفوجينية الأخرى ، ومن المعلوم أن المناخ كان يتغير من فترة إلى أخرى خلال الزمن الرابع وكذلك خلال الزمن الثالث . ومن ثم لابد أن تهتم الجيومورفولوجيا المناخية بدراسة التطور التاريخى لظواهر سطح الأرض وعلاقتها بتطور المناخ وتذبذبه خلال المراحل الزمنية المتعاقبة . وإذا ما افترضنا ان المناخ المعنى بالدراسة يتكون فيه ظواهر تضاريسية محددة ومرتبطة به *A unique climate produce unique land-forms* فإن هناك نقطتين هامتين يجب مراعاتهما وهما :

١- مشكلة تداخل النطاقات : *Zones of interferance*

ففى المناطق التى تقع عند أطراف أو هوامش الأقاليم المناخية المتجاورة لبعضها البعض الآخر ، تتداخل النطاقات المناخية فيما بينها وتتأثر المناطق الهامشية بأكثر من ظروف مناخية لإقليم مناخى محدد . وتظهر هذه الحالة بشكل واضح كذلك فى المناطق ذات الاختلافات التضاريسية الكبيرة (بين سهول وهضاب وجبال) وينتج عن ذلك تكوين ظواهر تضاريسية مركبة *complex land-forms* تتأثر بدورها بظروف المناخات الانتقالية . وتشاهد هذه الحالة الانتقالية بين هوامش المناطق الجليدية والمناطق غير الجليدية (شولى *Cholley 1950*) بينما أشار الأستاذ بينك *Penck, 1905* بأن ظواهر سطح الأرض المرتبطة بالأنهار الشاذة التى تقطع الصحراء *allochthonous* (مثل نهر النيل فى مصر) لاتدل على أنها أدلة لعامل تساقط الامطار فى الصحراء التى تقطعها هذه الانهار حيث أنها تنبع فى الواقع من اقاليم مناخية

أخرى تقع خارج النطاق الصحراوى وهو ماأشار إليه الاستاذ تريكار وزميلة كيليه *Tricart & Cailleux, 1965* بالعوامل ،خارج التناطق، *extrazonal processes* .

٢- مشكلة ،التتابع، *Succession* :

حيث إن كل إقليم مناخى يتمثل فيه ظواهر مورفومناخية معينة ، فإن تغيير المناخ إلى ظروف وحالة مناخية جديدة يترك المناخ القديم طابعه فى ظواهر سطح الأرض ولايستطيع المناخ الحالى ان يزيلها كلها ، وهكذا تتبقى بعض الظواهر المورفومناخية شبه الحفرية إلى جانب ظواهر مورفومناخية جديدة تتكون من المناخ الحالى . وعلى ذلك فإن مناطق سطح الأرض التى تعرضت لفترات متعاقبة من الذبذبات المناخية يتكون فيها مجموعات متعددة من الظواهر المورفومناخية ، تنتمى كل منها لظروف كل فترة مناخية قديمة . وقد تكون بعض هذه المجموعات من الظواهر بارزة عن غيرها تبعاً لطول الفترة المناخية التى تعرضت لها والتى قامت بتشكيلها حتى يصعب أزالة ملامحها المورفومناخية كلية بفعل تتابع المناخات الأخرى الأحدث منها عمراً .

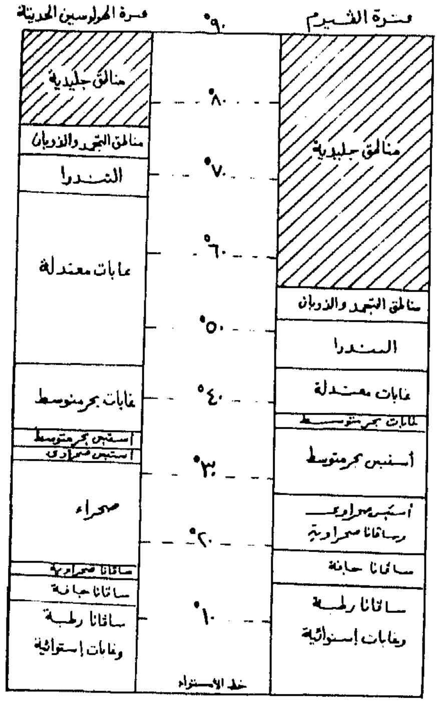
وقد عرف العلماء مدى أبعاد التغيرات المناخية البلايوستوسينية فى قارتى اوروبا وامريكا الشمالية بدرجة كبيرة *Dorf. 1958&Wrigh. 1961* إلا أن النتائج بالنسبة للقارات الأخرى تختلف من قارة إلى أخرى ، وقد أوضحت الدراسات بأنه فى المناطق الهامشية الصحراوية كانت التغيرات واضحة ومميزة بين فترات جفاف وفترات مطيرة *Charlesworth, 1957, Butzer, 1965* . ومن ثم تظهر هنا مشكلة تكوين الأودية الجافة *Wadies* فى الصحارى الحارة الجافة فهل تتكون هذه (الاودية) بفعل الامطار الفجائية الغزيرة الاعصارية الحالية أم هى تكونت فى الماضى خلال فترات زمنية تميزت بأنها كانت أغزر مطراً عن المناخ الحالى ؟ وعلى الرغم من أن الأستاذ ستودارت *Stoddart (1971 p203)* لايستطيع أن يؤكد أى من هذين

الرأيين . إلا أن الدراسات الجيومورفولوجية التى قام بها الباحث فى شبه جزيرة سيناء (ابو العينين ١٩٦٥و١٩٧١) ونتائج الدراسات الاركيولوجية والجغرافيا التاريخية تؤكد أن صحارى العروض الوسطى فى العالم تعرضت لفترات مطيرة كان يفصل بينها فترات جافة خلال عصر البلايوستوسين (راجع دراسات كيتون تومسون *C. Thompson* فى الواحة الخارجة) . وحيث إن بعض هذه الأودية . نجحت فى تكوين مدرجات تحاتية نهرية على جانبيها خلال فترات قديمة (بداية البلايوستوسين) فإنه من السهل ان ندرك بأن تلك الأودية الجافة كانت ممثلة خلال الفترات المطيرة على شكل أنهار قوية ثم بدأت تظهر بصورتها الحالية تبعاً لظروف الجفاف الحالى .

أما الأستاذ بينك *Penck* فقد رجح بأن هوامش الأقاليم المناخية وأطرافها هى التى تتأثر بالذبذبات المناخية ، ومن ثم يتكون فيها ظواهر مورفومناخية مركبة *Poly-morphoclimatic* تتشكل بأكثر من فترة مناخية ، أما قلب الإقليم المناخى وأواسطه فلا يتأثر بتلك الذبذبات المناخية وغالباً مايتكون فيها ظواهر مورفومناخية بسيطة منفردة *Monomophoclimatic* تتبع فترة مناخية واحدة . وتعد دراسات بينك فى الواقع نظرية ذاتية الرأى إلى مدى بعيد . حيث إن الدراسات الجيومورفولوجية فى الصحراء الكبرى خلال عصر البلايوستوسين أكدت بأن الصحراء كلها تأثرت بالذبذبات المناخية البلايوستوسينية ولم يتوقف هذا التغير على المناطق الهامشية أو أطراف الصحراء فقط .

وقد حاول الأستاذ بيدل *Budel* دراسة التغيرات فى الأقاليم المناخية على سطح الأرض خلال فترة الفيرم وماطرأ على تغير أبعاد الأقاليم المورفومناخية *morpho-climatic zones* وقد اعتقد بيدل *Budel, 1951. 1953,1957* بأنه خلال الفترات الباردة انخفضت درجة الحرارة بشدة خاصة عند المناطق القطبية وكان الأنخفاض فى الحرارة بدرجة اقل كلما اتجهنا نحو المناطق الأستوائية وأن الأقاليم الوسطى كانت أكثر مطراً عنها فى الوقت الحاضر .

وخلال فترة الفيرم حدث تزحزح فى النطاقات المناخية كلها إلا أن درجة التزحزح كانت أشد فى العروض العليا منها فى العروض الدنيا (شكل٢٠) . وهكذا يلاحظ أن الغطاءات الجليدية خلال فترة الفيرم امتدت من القطب الشمالى حتى دائرة ٥٥° شمالاً ، فى حين أنها تتمثل اليوم عند دائرة عرض ٧٨° شمالاً .

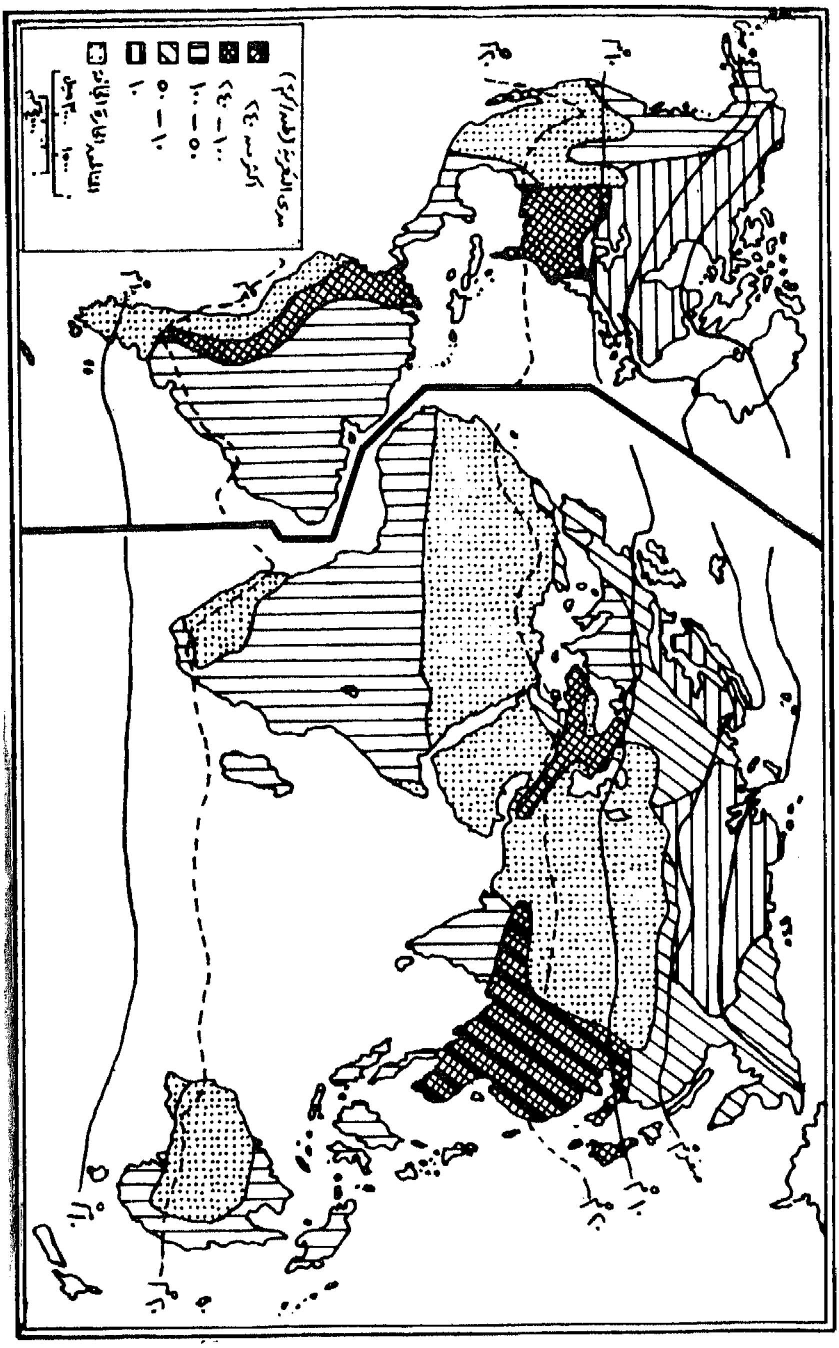


(شكل ٢٠) تزحزح نطاقات الأقاليم المناخية خلال فترة الفيرم ومقارنتها بالفترة المناخية الحالية (حسب دراسات بيدل ١٩٥٧)

وحيث إن فترة الفيرم أطول نسبياً من فترة الهولوسين الحديثة لذا تكونت خلال فترة الفيرم فى المناطق القطبية وحتى دائرة عرض ٥٥° شمالاً ظواهر جليدية مميزة ، وإن كانت المناطق الجليدية الحالية شمال دائرة عرض ٧٨° شمالاً تتشكل بفعل الجليد إلا أن تكوين ظواهر جديدة يتم ببطء حيث أن طول الفترة الزمنية لفترة الهولوسين ليس كافياً لتطور وتكوين مثل ظواهر الفيرم الجليدية . أما مناطق حوض البحر المتوسط الحالية فقد كانت خلال فترة

الفيرم مغطاة بغابات متناثرة ومناطق الصحارى الحالية كانت أكثر مطراً خلال فترة الفيرم عنها فى الوقت الحاضر . وقد واجهت دراسات بيدل الكثير من النقد نظراً لاعتماده على الأدلة المناخية فقط دون الاعتماد على الأدلة المستقاة من الرواسب النباتية القديمة *Palaeobotancial evidence* كما نقد تريكار وكيليه *Tricart & Cailleux 1965 and 1972* وبوتزر *Putzer, 1965* آراء بيدل فيما يتعلق بتكوين ظاهرات السطح البسيطة التى تتكون تحت فترة مناخية واحدة *Monogenetic or Monomorphoclimatic* فى مناطق مابين المدارين .

وقد اهتمت الجيومورفولوجيا المناخية المعاصرة بدراسة أشكال سطح الأرض تحت ظروف المناخ الحالى . كما عنيت كذلك بدراسة الظاهرات الحفرية التى تكونت نتيجة لظروف مناخية قديمة لا تتمثل فى الوقت الحاضر فى نفس المنطقة وأما المناخ الحالى فإنه يعمل على تشكيلها دون أن يزيلها تماماً . وعند دراسة تذبذب المناخ خلال الفترات القديمة ينبغى (إلى جانب الإعتماد على الأدلة الجيومورفولوجية) أن يدرس الباحث تنوع الرواسب القديمة فى المنطقة ومعرفة الظروف المناخية التى تكونت فيها تلك الرواسب *Barrell, 1908 Birot, 1965 Rother, 1957* ومن ثم فإن الجيومورفولوجيا المناخية تهتم بدراسة تعاقب حدوث الفرشات والمفتتات الإرسابية السطحية خلال نهاية الزمن الثالث وخلال الزمن الرابع أكثر من إهتمامها بالجيومورفولوجيا السطحية *Surface Geomorphology* وبإستخدام الأدلة المستمدة من دراسة الفرشات الإرسابية إلى جانب دراسة البقايا النباتية والحيوانية القديمة *Flora & Founa* يمكن للباحث أن يؤرخ الفترات المناخية إلى حد كبير وخاصة خلال عصر البلايوستوسين ، وينبغى على الباحث عند محاولته تأريخ الفترات الزمنية البلايوستوسينية أن يستفيد بكل الأدلة الجيومورفولوجية والنباتية والحيوانية بل والحضارية حتى تقترب دراسته من الدقة إلى درجة كبيرة . وكذلك تقييم مدى فعل التعرية فى الأقاليم المناخية المختلفة على سطح الأرض (شكل ٢١) .



(شكل ٢١) مدى فعل التعرية في العالم
(حسب دراسات ستراخوف ١٩٦٧)

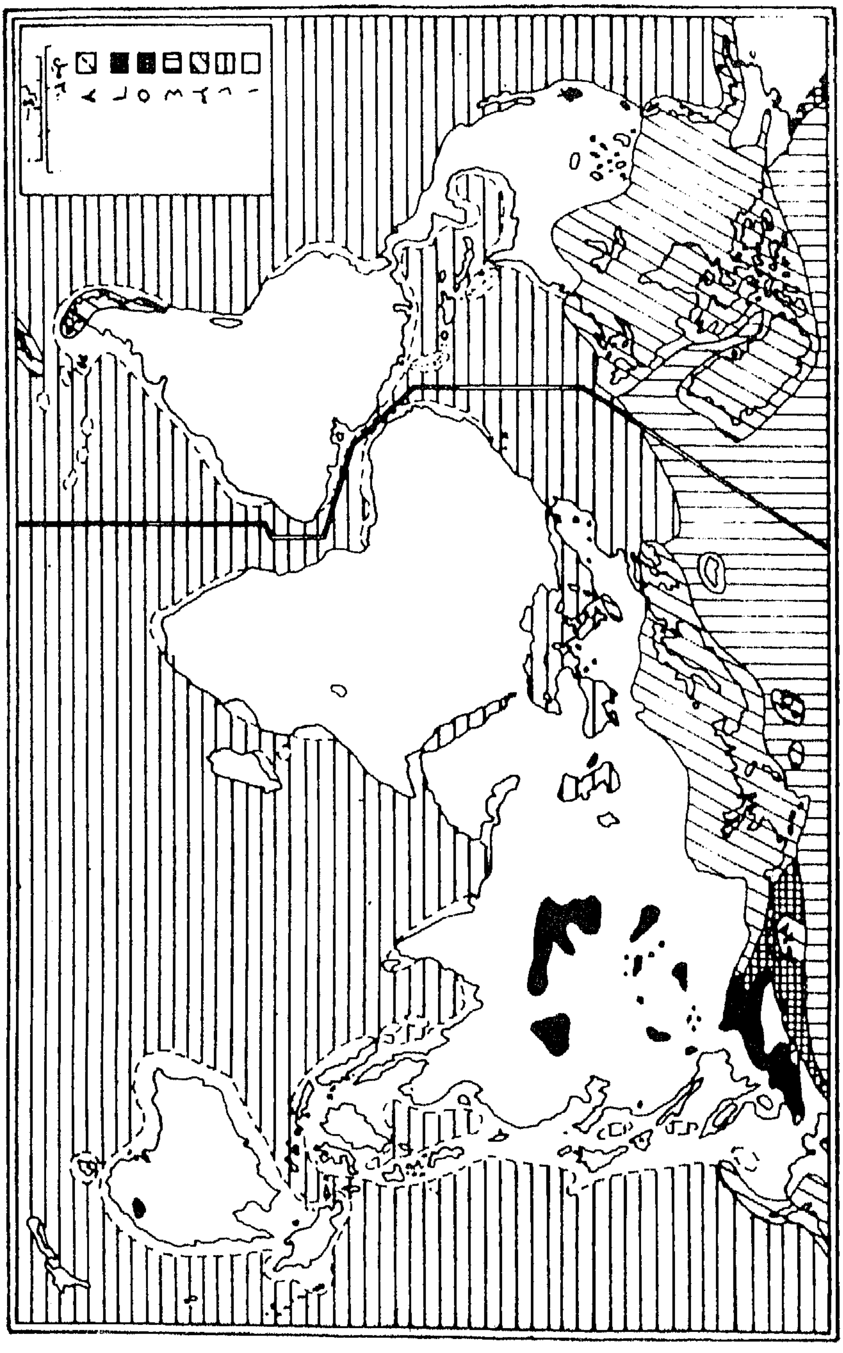
وقد إختصت الدراسات الجيومورفولوجية المناخية *Demek, 1964,* *Drisscoll 1964, Mabutta, 1965, Brener 1965* بدراسة التغيرات المناخية خلال الزمن الثالث فى أواسط أوروبا وفى المناطق المدارية من أفريقيا ، وإعتمدت هذه الدراسات على الأدلة النباتية والحيوانية والرواسب القديمة أكثر من إعتمادها على بقايا أسطح التعرية أو السهول التحاتية *Erosion Surface* ومعرفة التطور الجيومورفولوجى *Denudation Chronology* كما هو الحال فى الجيومورفولوجيا الدافيزية الكيفية .

وعندما حاول ستراخوف *Strakhov 1967* دراسة أدلة التغيرات المناخية القديمة على سطح الأرض أنشأ فى البداية خرائط توضح توزيع المناخ القديم *Palaeoclimatic Maps* ومن هذه الخرائط :

١- خريطة توضح توزيع الإمتداد الكبير للجليد خلال فترة الفيرم (شكل ٢٢) .

٢- خريطة توضح الرواسب المختلفة الناتجة عن فعل التجوية والتعرية خلال فترة الباليوجين (شكل ٢٣) .

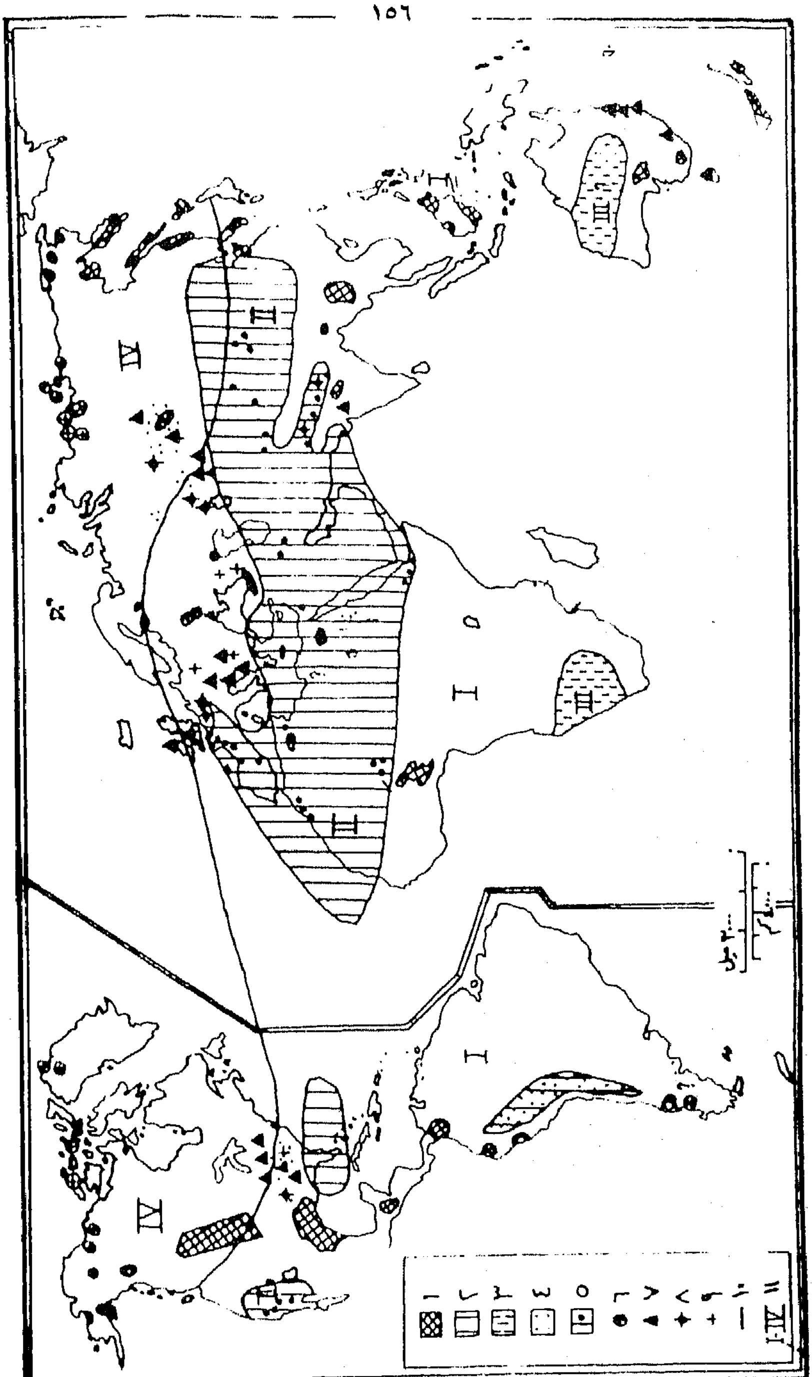
٣- خريطة توضح توزيع الأقاليم المناخية فى العالم خلال فترة النيوجين «نهاية الزمن الثالث» (شكل ٢٤) . وعلاقة هذه الأقاليم المناخية بفعل التجوية وعوامل التعرية المختلفة وخصائص الرواسب فى كل إقليم . وقد إهتم ستراخوف بدراسة نوع الرواسب مثل الرواسب الحمراء *Redbeds* ورواسب المتبخرات *Evaporits* ورواسب البوكسيت *Bauxites* لمعرفة مراحل تذبذب المناخ القديم أكثر من إعتماده على الأدلة النباتية والحيوانية القديمة .



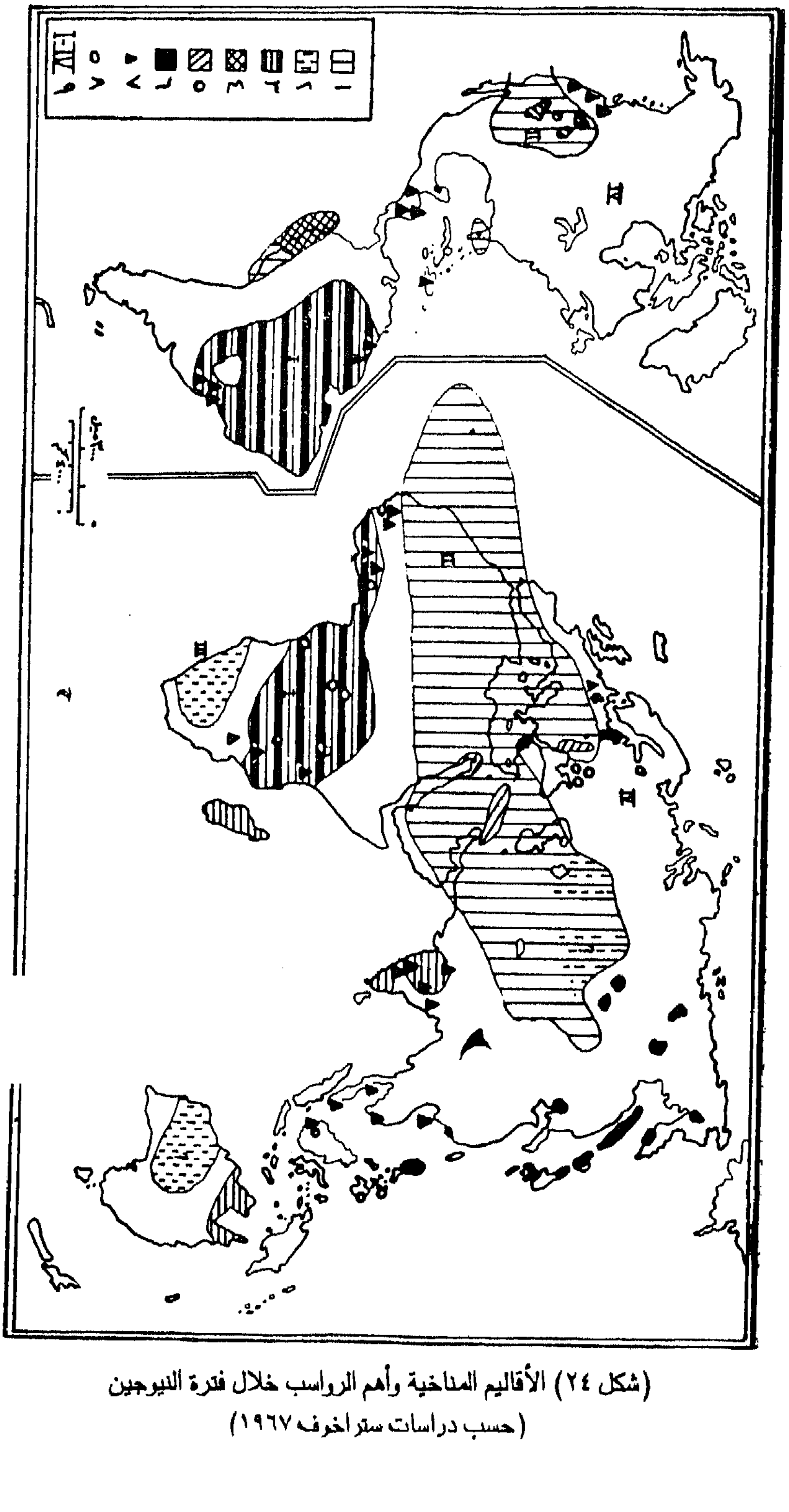
(شكل ٢٢) الظواهر الجليدية الكبرى خلال فترة الامتداد الكبير للجليد

(حسب دراسة ستراخوف)

(القراءة مفتاح الخريطة راجع فهرس محتويات الكتاب)



(شكل ٢٣) الأقاليم المناخية وأهم الرواسب خلال فترة الباليوجين
(حسب دراسات ستراخوف)



(شكل ٢٤) الأقاليم المناخية وأهم الرواسب خلال فترة النيوجين

(حسب دراسات ستراخوف ١٩٦٧)

الفصل الخامس
بعض المفاهيم الرئيسة في الدراسة الجيومورفولوجية

قبل أن نعرض للدراسة التحليلية للظاهرات [١] الجيومورفولوجية على سطح الأرض يحسن الإشارة إلى بعض المفاهيم الرئيسة فى الدراسة الجيومورفولوجية الدافيزية والتى تتعلق بدراسة التوزيع الجغرافى لهذه الظاهرات ، ونشأتها ومراحل تطورها والأزمنة الجيولوجية التى تكونت خلالها . وقد أشار الأستاذ الأمريكى وليم ثورنبرى *Thornbury, 1958* فى كتابه المشهور «أصول الجيومورفولوجيا» [٢] إلى أهمية هذه المفاهيم الجيومورفولوجية بوجه عام والدافيزية بوجه خاص وضرورة معرفة الجيومورفولوجى بها .

أولا : القوي التي تشكل سطح الأرض اليوم هي نفسها التي شكلته خلال العصور الجيولوجية السابقة ولكن بدرجات يتفاوت أثرها من عصر إلي آخر :

استنتج الأستاذ ثورنبرى هذا المفهوم فى ضوء مفهوم التطور التدريجى البطئ *Uniformitarianism* للظواهر الجيومورفولوجية والتى رجحها هاطون عام ١٧٨٥ وأكدها من بعده الأستاذ بلاى فير *Play Fair* فى كتاباته عام ١٨٠٢ . وقد اعتمد هاطون عند تحليله للظواهر التضاريسية لسطح الأرض ولمعرفة نشأتها ومراحل تطورها على أن الحاضر مفتاح الماضى *The present is the Key to the past* غير أنه لم يكن موفقا حين أوضح بأن

---

(١) ظاهرة جمعها ظواهر أو ظاهرات .

(2) Thornbury, W. D., "Principles of Geomorphology" New York (1958), p. 16 - 33.

العوامل التى شكلت ظاهرات سطح الأرض فى الماضى هى نفسها التى تشكله فى الوقت الحاضر بل وبنفس الدرجة ، إلا أن نتائج الأبحاث الجيومورفولوجية الحديثة أكدت أن الظواهر التضاريسية لسطح الأرض تشكلت بفعل قوى *Processes* متعددة بتفاوت تأثيرها فى تشكيل هذه الظواهر من عصر إلى آخر . على سبيل المثال أكدت هذه الدراسات بأن المناخ البلايوستوسينى يختلف عن خصائص المناخ الحالى ، حيث كان يتميز بفترات شديدة البرودة أدت إلى انتشار الغطاءات الجيليدية فى العروض الباردة وكان يتبعها فترات دفيئة نتج عنها انصهار الجليد . وأدى الجليد البلايوستوسينى إلى تكوين ظواهر جليدية مميزة فى كل من وسط أوربا وشمالها ، وفى النصف الشمالى من أمريكا الشمالية ، كما كان منسوب خط الثلج الدائم *Snow Line* فى الجبال أقل انخفاضا بكثير عما هو عليه اليوم . وعلى ذلك كان أثر فعل الجليد الحالى فى تشكيل الظاهرات التضاريسية لسطح الأرض خلال العصور الجيولوجية القديمة (العصر الجليدى الكربوني) *Carboniferous Glaciation* والعصر الجليدى البلايوستوسينى *Pleistocene Glaciation* أشد أثرا من الفعل الذى تقوم به الغطاءات الجليدية وفعل الجليد المحدود فى كل من جرينلند وايسلند فى الوقت الحاضر .

ولا يقتصر استخدام تعبير «القوي» *Processes* على القوى الخارجية التى تشكل سطح الأرض بل يتضمن كذلك القوى الداخلية التى تشكل بنية الطبقات الجيولوجية من ناحية ، كما قد تؤدى إلى تكوين ظواهر تركيبية النشأة من ناحية أخرى . ومن دراسة العمود الجيولوجى لقشرة الأرض يتضح أن القوى الداخلية كانت أشد نشاطا خلال الزمن الجيولوجى الأول ، وميز الجيولوجيون حركتين رئيسيتين فيه هما الحركات الكاليدونية *Caledoninan Orogensis* التى حدثت خلال العصر السيلورى والحركات الهرسينية *Hercynian Orogenesis* التى حدثت خلال العصر البرمى وفى نهايته . وخلال الزمن الجيولوجى الثالث حدثت الحركة التكتونية الكبرى المعروفة باسم الحركة

الألبية *Alpine Orogenesis* خلال عصر الميوسين . ويعزى شدة نشاط الحركات التكتونية أو القوى الداخلية خلال الزمنين الجيولوجيين الأول والثالث إلى تجميع المواد والعناصر المشعة *Radio - active* فى باطن الأرض وما ينتج عنها من تفاعلات نووية تؤدى إلى انصهار مواد باطن الأرض وارتفاع درجة حرارته وحدوث حركات رفع تؤدى إلى ثنى قشرة الأرض وطيها .

ثانيا : يعد كل من التكوين الصخري ونظام بنية الطبقات من بين أهم العوامل التي تشكل مظهر سطح الأرض وظاهراته التضاريسية :

شغل هذا المفهوم الدافيزى أذهان الجيومورفولوجيين عند بداية ظهور علم الجيومورفولوجيا الفيزيوغرافية فى بداية القرن التاسع عشر وانفصاله تماما عن الجيولوجيا الفيزيوغرافية فى بداية القرن العشرين . وربما يعزى السبب فى ذلك إلى أن رواد الدراسة الجيومورفولوجية كانوا جيولوجيين أصلا ، ومن ثم بهرتهم الظواهر التضاريسية المتأثرة بالتكوين الجيولوجى ونظام بنية الطبقات ووجهوا عنايتهم إلى دراسة هذه الظواهر التركيبية النشأة بدرجة أكبر من درجة أية ظاهرات تضاريسية أخرى على سطح الأرض .

ويقصد بالتكوين الصخرى *Lithology* كل خصائص الصخر الطبيعية التى تحدد درجة تفاعله مع عوامل التجوية والتعرية المختلفة ، ومن ثم يهمنا فى هذا المجال معرفة مدى صلابة التكوينات الصخرية أو مدى ليونتها *Hardness and Softness* وأثر ذلك فى عمليات التفكك أو التفتيت وعمليات التحلل الصخرى . وتتأثر درجة صلابة الصخر بعدة عوامل من بينها خصائص المواد التى تدخل فى تكوين الصخر نفسه ونوع المادة اللاحمة لحبيبات الصخر ومدى تأثر الصخر بفعل كل من الشقوق *Crackes* والفوالق *Joints* والصدوع *Faults* كما يشير تعبير التكوين الصخرى كذلك إلى مدى تجانس حبيبات الصخور ودرجة مساميتها وقدرتها على انفاذ المياه خلال تكويناتها .

ويقصد بنظام بنية الطبقات *Structure* ترتيب بناء التكوينات الجيولوجية . فقد تتكون هذه التكوينات من كتل هائلة الحجم كما هو الحال بالنسبة للصخور النارية ، أو قد تظهر على شكل طبقات ارسابية مختلفة السمك كما هو الحال بالنسبة للصخور الارسابية وعلى ذلك قد تتركب الصخور الارسابية من طبقات صخرية صلبة أو طبقات صخرية لينة ، أو قد تتركب من صخور طباقية غير متجانسة أى من طبقات صلبة متعاقبة فوق طبقات أخرى لينة ، وقد تكون هيئة هذه الطبقات أو تلك فى وضع أفقى *Horizonal* أو مائل *Inclined* أو على شكل ثنيات مقعرة *Synclines* أو ثنيات محدبة *Anticlines* أو قد تتعرض الطبقات لفعل التصدع *Faulting* الذى قد يؤدى بدوره إلى زحزحة الطبقات أفقيا أو رأسيا .

وعلى الرغم من أن أهمية عوامل التعرية الخارجية فى تشكيل الظواهر التضاريسية لسطح الأرض فإن تكوين ونظام بناء الصخر يعد حسب المنهج الدافيزى من أهم العوامل التى تؤثر فى تشكيل مظهر سطح الأرض وظواهره التضاريسية . وعلى سبيل المثال نلاحظ أن مناطق سطح الأرض التى تتأثر بالثورانات البركانية لها خصائص جيومورفولوجية خاصة تميزها عن غيرها من مناطق سطح الأرض الأخرى . فالمخروطات البركانية والهضاب البركانية والفرشات اللافية والحواجز والسدود الرأسية كلها ظاهرات لا يمكن مشاهدتها إلا فى المناطق التى تأثرت بفعل النشاط البركانى . وقد تتميز الحافة الصخرية الصدعية *Fault Scraps* بخصائص مورفولوجية لا تشاهد إلا فى الحافات التى تأثرت بالصدوع . وعلى الرغم من تشكيل الظواهر المتأثرة بالتكوين الجيولوجى ونظام بنية الطبقات (أو بمعنى آخر الظاهرات التركيبية النشأة) *Structurally controlled features* بالعوامل الخارجية إلا أن هذه العوامل فى هذه الحالة يقتصر فعلها على تعديل المظهر الخارجى للظاهرات التضاريسية التركيبية التى تكونت أصلا بفعل التنوع الصخرى ونظام بنية الطبقات . ومن بين هذه الظاهرات التركيبية النشأة الحافات

الصخرية *Scarps* والحافات الصدعية *Fault Scraps* والمدرجات الصخرية *Structural benches* وبعض التلال المنعزلة *Isolated hills* .

ثالثا : تترك عوامل القوي المختلفة طابعها ومخلفاتها في الظاهرات الجيومورفولوجية التي تشكل أجزاء سطح الأرض ، ومن ثم فإن هذه الظاهرات تدل بدورها علي عوامل القوي الرئيسة التي أدت إلي تكوينها :

يتضح مما سبق أن عوامل القوى المختلفة التى تؤثر فى تشكيل ظاهرات سطح الأرض متعددة ومتنوعة ، فمنها قوى داخلية تكتونية تتكون تبعا للاضطرابات التى تحدث فى باطن الأرض وتعرف باسم *Vulcanism or Diastrophism* وقد أطلق الأستاذ بينك *A. Penck* على هذه المجموعة من العوامل تعبير العوامل الداخلية *Endogenic* أما عوامل التعرية التى تتكون أصلا فى الغلاف الغازى وتشكل سطح الأرض مثل التعرية النهرية والهوائية والجليدية والبحرية فقد أطلق عليها بينك تعبير القوى أو العوامل الخارجية *Exogenic* . ويلاحظ أن العوامل الداخلية تعد بصورة عامة عوامل بناء ، ذلك لأنها قد تؤدى إلى تكوين السلاسل الجبلية الكبرى واندفاع السدود البركانية وانبثاق المصهورات اللافية إلى سطح الأرض ، وتكوين المخروطات والهضاب والغطاءات البركانية وبناء القشرة الأرضية نفسها . أما العوامل الخارجية فتقوم بتشكيل مواد قشرة الأرض التى ساهم فى تركيبها ونظام بنائها العوامل الداخلية . وتقوم هذه العوامل الخارجية كذلك فعل الهدم والنقل والارساب .

وتترك عوامل القوى الداخلية أو بمعنى آخر الحركات التكتونية مخلفاتها أو طابعها فى سطح الأرض . ومن ثم عند دراسة ظواهر الهضاب الصدعية المرفوعة *Horsts* والأغوار الصدعية *Grabens* والحافات الصدعية *Fault Scarps* يدرك الباحث أن هذه الظواهر تكونت بفعل حدوث التصدع *Faulting* ومن دراسة أشكال المخروطات والهضاب البركانية والفرشات اللافية يستدل الباحث منها كذلك على أن هذه الظواهر تكونت بفعل حدوث

الثورانات البركانية *Volcanic eruptions* ومن دراسة السلاسل الجبلية بظواهرها المتعددة يتبين للباحث أنها تكونت نتيجة لحدوث حركات الثنى أو الطى .

ومن التحليل الجيومورفولوجى لظاهرات سطح الأرض يتضح أن هناك مجموعات من هذه الظاهرات ترتبط نشأتها وتطورها بفعل بعض عوامل القوى الخارجية أو بمعنى آخر بعض عوامل التعرية والتجوية وعلى سبيل المثال لا الحصر ، نذكر من بين هذه الظواهر ، السهول الفيضية *Flood plains* والمراوح الفيضية *Alluvial fans* والدلتاوات *Deltas* وكل من نتائج فعل التعرية النهرية وارساباتها وظواهر الحفر الغائرة *Sinkholes* والأودية الطولية الجيرية *Poljes* والغابات الحجرية الجيرية *Stone Forests* والكهوف الجيرية وما قد يتمثل فيها من أعمدة صاعدة وأخرى نازلة .

رابعا : حيث يتعرض سطح الأرض لفعل عوامل متعددة من عوامل القوي يتفاوت عملها من إقليم إلي آخر بل ومن زمن إلي آخر ، فقد تميزت أقاليم سطح الأرض بظاهرات متنوعة تختلف كذلك من إقليم إلي آخر ، بل وتختلف هذه الظاهرات من زمن إلي آخر في نفس الإقليم الواحد :

استنبط الباحثون هذا المفهوم من الجيومورفولوجيا الدافيزية التى أولت عنايتها بدراسة الدورة التحاتية ، وكما سبقت الاشارة من قبل فإن عوامل القوى متعددة ومتنوعة ولا تتأثر أقاليم سطح الأرض المختلفة بكل هذه العوامل مجتمعة فى وقت واحد بل قد تتأثر ببعض منها فقط تبعا للتطور الجيولوجى الذى مرت به المنطقة والظروف المناخية التى تعرضت لها . وحتى إذا تعرضت بعض أقاليم سطح الأرض لفعل مجموعة متشابهة من عوامل القوى المختلفة ، فليس معنى هذا أنه لابد وأن تتكون ظاهرات جيومورفولوجية متشابهة فى كل هذه الأقاليم ، وذلك لأن الظواهر التضاريسية لسطح الأرض قد تكون متأثرة بحركات وقوى تكتونية مختلفة ، كما أن صلابة الصخور

تختلف من إقليم إلى آخر تبعا لاختلاف التركيب الصخرى فى كل منها ، وأن فعل عوامل التعرية نفسه ليس بنفس الدرجة فى كل إقليم وآخر . وأخيرا أن طول الأزمنة أو المراحل التى تشكلت خلالها ظاهرات سطح الأرض قد تكون غير متساوية فى كل هذه الأقاليم .

وتختلف الظواهر التضاريسية لسطح الأرض فى الإقليم الواحد من زمن جيولوجى إلى آخر وذلك وفقا لتعدد عوامل القوى الداخلية وعوامل التعرية المختلفة التى شكلت سطح الأرض ومدى فعل هذه القوى (الداخلية والخارجية) خلال الفترات الجيولوجية المختلفة . ومن ثم يتضح كذلك أن الظاهرة الواحدة من الظاهرات التضاريسية المختلفة لسطح الأرض تتباين أشكالها من زمن إلى آخر فى نفس الإقليم الواحد . فهذه الظواهر عند بداية نشأتها تتميز بطفولة مظهرها المورفولوجي *Young stage* فى حين بعد أن تتعرض لفعل عوامل التعرية المختلفة ولمدة طويلة من الزمن تعمل هذه العوامل الأخيرة على تشكيل الظواهر التضاريسية بصورة تختلف عن صورتها الأصلية إبان نشأتها الأولى ، ويشار إليها بأنها ظواهر جيومورفولوجية ناضجة المظهر *Mature stage* .

وتبعا لتعدد عوامل القوى الداخلية والخارجية التى تشكل سطح الأرض تتنوع الظواهر الجيومورفولوجية من إقليم إلى آخر . فهناك مناطق تتشكل ظواهرها الجيومورفولوجية بفعل القوى الداخلية بصورة أكبر من تأثرها بعوامل القوى الخارجية التى يتوقف أثرها هنا على التشكيل الخارجى للظواهر التكتونية النشأة . وينتمى إلى تلك المناطق أجزاء سطح الأرض التى تتشكل بفعل البراكين والثورانات البركانية والمناطق الالتوائية الحديثة النشأة ، فى حين نلاحظ أن هناك أجزاء أخرى من سطح الأرض تتشكل بصورة أشد بفعل البحر أكثر من تأثرها بأى عوامل خارجية أخرى كما هو الحال بالنسبة للمناطق الساحلية ، ومناطق أخرى تتأثر بفعل الأنهار أو بفعل الجليد أو بفعل الرياح .

وتختلف صورة كل إقليم من هذه الأقاليم المختلفة فى الوقت الحاضر عما كان عليه عند بداية نشأته . على سبيل المثال قد يشاهد الباحث فى المناطق التى تأثرت بفعل الأنهار سهولا تحاتية نهرية واسعة الامتداد إلا أن هذا المظهر الجيومورفولوجى الحالى لم يكن بهذه الصورة عند بداية الدورة التحاتية النهرية . فقد كانت المنطقة أعلى ارتفاعا وأشد تضرسا فى البداية ثم عملت الأنهار عن طريق النحت الرأسى والنحت الجانبى خلال مدة طويلة من الزمن على تخفيض درجة التضرس والمظهر الجيومورفولوجى العام للمنطقة ثم فى النهاية تكوين السهول التحاتية الهائلة الامتداد .

خامسا : يتميز التطور الجيومورفولوجي بالتعقد أكثر منه بالبساطة:

يحسن أن يتصف كل بحث أو تحليل ما عند عرضه للقارئ بالبساطة *Simplicity* حتى يمكن ادراك معانيه ومدلولاته بسهولة ويسر ، إلا أن التطور الجيومورفولوجى لمعظم أقاليم سطح الأرض المختلفة يتميز فى الحقيقة بالتعقد *Complexity* وذلك تبعا لمراحل التاريخ الجيولوجى والحركات التكتونية التى شكلت صخور الأقاليم من جهة وأثر عوامل التعرية المختلفة التى عملت على تعديل مظهر سطح هذه الأقاليم من جهة أخرى . كما أن ظاهرات سطح الأرض قد تكون قد مرت كذلك بأكثر من دورة تحاتية خاصة إذا كانت قديمة العمر الجيولوجى . وبعضها الآخر قد يتأثر بحدوث دورة تحاتية جديدة فى حين أنها لم تكن قد اكتملت بعد دورتها التحاتية الأولى الناقصة وعلى ذلك رجح الأستاذ هوربرج *Horberg* (١) عام ١٩٥٢ تقسيم الظاهرات التضاريسية لسطح الأرض تبعا لتطور تاريخها الجيومورفولوجى إلى خمس مجموعات رئيسية هى :

---

(1) Horberg, L., "Inter-relations of geomorphology, glacial geology and Pleistocene geology" Jour. Geol., Vol. 60 (1952),

(أ) ظاهرات السطح البسيطة *Simple Landscape*:

ويقصد بذلك تلك الظاهرات الجيومورفولوجية التى تتشكل بفعل عامل واحد أساسى من عوامل القوى المختلفة . وتعد هذه المجموعة من الظواهر محدودة التوزيع الجغرافى على سطح الأرض ، ومنها الكثبان الرملية التى تتكون أساسا بفعل الرياح كعامل ارساب ، والمسلات البحرية التى ترجع نشأتها إلى فعل الأمواج فى نحت صخور الشاطئ ، والألسنة البحرية التى تتكون تبعا لتجمع الرواسب التى كانت تحملها الأمواج وتجرفها من صخور الشاطئ المجاور .

(ب) ظاهرات السطح المركبة *Compound Landscape*:

ويطلق هذا التعبير على الظاهرات الجيومورفولوجية التى تتشكل بأكثر من عامل واحد من عوامل القوى المختلفة . وتنتمى معظم ظاهرات سطح الأرض إلى هذه المجموع وذلك لأنه من النادر أن نجد أية ظاهرة جيومورفولوجية على سطح الأرض تنشأ بفعل عامل واحد فقط من عوامل القوى المختلفة . والظاهرات المركبة متعددة على سطح الأرض ، فعندما يشق النهر مجراه فى منطقة من الصخور البركانية أو فى منطقة أخرى تأثرت بالتعرية الجليدية ، تنشأ ظاهرات بفعل التعرية النهرية وتتأثر أشكالها فى نفس الوقت بما تعرضت له المنطقة فى الأزمنة الجيومورفولوجية السابقة من تطور وتشكيل .

(جـ) ظاهرات السطح التي تنشأ تبعا لدورة تحاتية واحدة

Monocyclic Landscape

ويقصد بذلك مجموعة الظاهرات الجيومورفولوجية التى تنتج تبعا لفعل دورة تحاتية واحدة ، ومثل هذه الظاهرات نادر الوجود على سطح الأرض . ويتبع هذه المجموعة تلك الظاهرات الحديثة العمر ، الجديدة النشأة *Newly created landsurface* كما هو الحال مثلا بالنسبة للأجزاء التى رفعت حديثا من أرضية البحار بفعل الحركات التكتونية ، أو أسطح المخروطات البركانية أو

الهضاب البركانية الحديثة النشأة .

(د) ظاهرات السطح التي تنشأ تبعا لأكثر من دورة تحاتية واحدة : *Multi - cyclic Landscape*

يتبين من نتائج الدراسات الجيومورفولوجية أن معظم ظاهرات سطح الأرض الكبرى ـ ان لم يكن كلها ـ قد تعرضت إلى أكثر من دورة تحاتية واحدة ، ويتمثل أثر فعل الدورة أو الدورات التحاتية القديمة فى بقايا سطوح التعرية *Erosion surface remnants* التى تحتل عادة الأجزاء العليا المستوية السطح من المنطقة بينما تتمثل نتائج الدورة التحاتية الحديثة فى الظاهرات الجيومورفولوجية التى تحتل باطن الوادى وأرضيته . وقد أدرك الباحثون عند دراسة بقايا أسطح التعرية فى إقليم ما ، ومقارنتها بتلك فى إقليم آخر ، الدورات التحاتية المختلفة التى تعرضت لها أجزاء سطح الأرض . فقد أكدت معظم الدراسات الجيومورفولوجية على سبيل المثال أن القسم الشمالى الشرقى من أمريكا الجنوبية تعرض لثلاث دورات تحاتية بينما تعرض إقليم شرق انجلترا لدورتين تحاتيتين متعاقبتين ، أما القسم الجنوبى الشرقى من قارة إفريقيا فقد تعرض لأربع دورات تحاتية متعاقبة على الأقل .

(هـ) ظاهرات سطح الأرض المدفونة والتي انبعثت من جديد : *Exhumed or Resurrected Landscape*

ويقصد بهذا التعبير الاشارة إلى الظاهرات التى تنشأ خلال أزمنة جيولوجية قديمة ، ثم غطتها رواسب أحدث منها عمرا . وتبعا لفعل التعرية المختلفة قد تزال الغطاءات الارسابية وتنبعث هذه الظاهرات القديمة النشأة فعلا على سطح الأرض من جديد وكأنها حديثة العمر. وقد أكدت الدراسات الجيومورفولوجية فى إقليم خليج هدسن *Hudson Bay* أن بقايا أسطح التعرية تكونت فى هذه المنطقة فوق تكوينات نارية قديمة ترجع نشأتها إلى زمن ما قبل الكمبرى ، ثم اندثرت هذه البقايا واندفنت تحت تكوينات الزمن الجيولوجى الأول ، وأسهمت عوامل التعرية الحديثة على تآكل هذه التكوينات

الأخيرة ، وعلى ذلك أخذت أسطح التعرية القديمة فى الظهور تدريجيا على سطح الأرض فى الوقت الحاضر .

سادسا : ترجع نشأة معظم ظاهرات سطح الأرض إلي عصر البلايوستوسين وقليل من الظاهرات الأخري قد ترجع نشأتها إلي الزمن الجيولوجي الثالث ، ولكن من النادر جدا أن تتمثل فوق سطح الأرض ظاهرات جيومورفولوجية أقدم من هذا الزمن الأخير :

تبين من نتائج الدراسات الجيومورفولوجية على أن معظم ظاهرات سطح الأرض تعد حديثة النشأة بحيث يمكن القول أن نحو ٩٩ ٪ من مجموع ظاهرات سطح الأرض لا يبعد عمرها عن عصر الميوسين الأوسط ، كما أن صورتها قد تشكلت خلال عصر البلايوستوسين . وأكد هذا الرأى الأستاذ أشلى *Ashley 1931* (١) الذى أوضح بأن معظم ظاهرات سطح الأرض التى تتمثل فى المرتفعات والهضاب والأودية النهرية والسواحل والشواطئ والبحيرات والأخاديد النهرية الكبرى كلها ظواهر لا يرجع أقدمها عمرا أبعد من عصر الميوسين ، بل من النادر جدا أن يجد الباحث أى ظاهرة جيومورفولوجية على سطح الأرض أقدم عمراً من هذا الزمن الأخير .

وعلى ذلك يظهر واضحا أن عمر الطبقات الصخرية أقدم بكثير من عمر الظاهرات الجيومورفولوجية التي تتكون فوق أسطحها . فقد تكون هذه الطبقات أركية العمر (أى منذ أكثر من ٧٠٠ مليون سنة) ، إلا أن ظهورها فوق سطح الأرض على شكل ظاهرات جيومورفولوجية مختلفة قد يرجع إلى عصر البلايوستوسين (أى منذ نحو مليون سنة فقط) .

وقد يعتقد البعض كذلك أن أخدود كلورادو العظيم فى غرب الولايات المتحدة الأمريكية قديم العمر فى ضوء صخوره الأركية إلا أن الدراسات

---

(1) Ashley, G. H. "Our Youthful Scenery" Geol Soc. Amer. Bull 42 (1931), 537 - 546.

الجيومورفولوجية التى قام بها كل من باويل (١) *Powell, 1875* وداتون (٢) *Dutton, 1882* ووليم موريس دافيز (٣) *W. M. Davis, 1901* وبلاكفيلدر (٤) *Blackwelder, 1934* أكدت جميعها على أن نشأة هذا الأخدود النهرى ترجع إلى أواسط الزمن الجيولوجى الثالث ، كما أن معظم الدراسات الجيومورفولوجية التى تتمثل على جانبى الأخدود وفى أرضيته هى أحدث عمراً من ذلك .

سابعا : لا يمكن ادراك الفهم الصحيح لتطور أشكال سطح الأرض الحالية إلا بدراسة كل من التكوين الجيولوجي والبنية لهذه الظاهرات من ناحية ، ومعرفة تتابع حدوث الذبذبات المناخية البلايوستوسينية من ناحية أخري :

سبقت الاشارة من قبل إلى أثر التكوين الجيولوجى ونظام بنية الطبقات فى تشكيل الظاهرات التضاريسية لسطح الأرض كما تبين أن معظم الظواهر الجيوموفولوجية لسطح الأرض تكونت وتشكلت خلال عصر البلايوستوسين ولا يزال تشكيلها مستمرا تحت ظروف المناخ الحالى . والظواهر الجيومورفولوجية القديمة النشأة مثل تلك فى مرتفعات الروكى ومرتفعات الألب تشكلت منحدراتها وقممها بواسطة عوامل تعرية تحت ظروف المناخ البلايوستوسينى ، الذى يتميز بحدوث فترات باردة أو جليدية يفصل بينها فترات دفيئة أو غير جليدية . وقد ينتج عن ذلك تكوين عوامل تعرية مختلفة شكلت سطح الأرض

---

(1) Powell, J. W., "Exploration of the Colorado River" Washington (1875), 147 - 214.

(2) Dutton, C. E. "Tertiary history of Grand Canyon District" U. S. Geol. Surv. 2 (1882) 206 - 229.

(3) Davis. W,. M., "An excursion to the Grand Canyon of the Colorado", Bull. Mus. Comp. Zool. Harvard, 1901.

(4) Blackwelder, E., "Origin of the Colorado River", Geol Soc. Amer Bull, 45 (1934) 551 - 566.

خلال كل فترة من هذه الفترات المناخية البلايوستوسينية وعلى ذلك فإنه من الضرورى أن يضع الجيومورفولوجيون فى الاعتبار أهمية دراسة الذبذبات المناخية خلال عصر البلايوستوسين الوقت الحاضر وأثر ذلك فى تكوين عوامل تعرية مميزة تؤثر بدورها فى تشكيل الظاهرات التضاريسية لسطح الأرض .

وقد أكدت الأبحاث الجيومورفولوجية بأن الغطاءات الجليدية البلايوستوسينية كانت تغطى مساحات واسعة من أراضى النصف الشمالى من الكرة الأرضية . وخلال الفترات الجليدية شكلت الغطاءات الجليدية سطح الأرض بظواهر جليدية مميزة سواء أكان ذلك فى المناطق الجبلية أو فى المناطق السهلية . ومن بين هذه الظواهر ، الحلبات الجليدية *Corries* والجبال الهرمية الجليدية *Glacial Horns* والحواجز المشرشرة الشكل *Arrets* والثلاجات (الأنهار الجليدية) *Glaciers* والأودية الجليدية المعلقة *Hanging Valleys* والركامات الجليدية المختلفة *Glacial Moraines* وغطاءات الطفل الجليدى *Glacial Boulders* والكتل الصخرية الضالة *Erratic blocks* . وعندما يتراجع الجليد خلال الفترات الدفيئة غير الجليدية تتجمع المياه المنصهرة أما فى بحيرات أو على شكل مسيلات مائية وأنهار تقوم بتشكيل سطح الأرض . ومن ثم تتكون بعض الظواهر الجيومورفولوجية مثل مدرجات الكام *Kam Teraces* والكثبان الجليدية *Drumlins* وغيرها من الظواهر الجليدية النهرية *Fluvio-glacial Features* . وخلال الفترات الدفيئة أو غير الجليدية (فى داخل نطاق المناطق التى تأثرت بالجليد) وفى المناطق القريبة من أطراف الغطاءات الجليدية ، تتكون ظواهر أخرى تعرف باسم الظواهر الجيومورفولوجية شبه الجليدية *Periglaciated Features* وتنشأ هذه الظواهر شبه الجليدية بفعل أى أو كل من :

أ – فعل تتابع التجمد والانصهار *Freezing and Thawing*

ب – فعل المياه المنصهرة من الجليد *Nivation*

جـ - فعل الرياح فى المناطق الجافة *Wind action*

ومن بين هذه الظواهر الجيومورفولوجية ، الثنيات الصخرية الظاهرية المحدبة بفعل تجمد المياه داخل التكوينات الجيولوجية وانصهارها *Superficial Folds* واتساع فتحات الشقوق فى الصخور *open Joints* والجيوب والأسافين الممتلئة بالرواسب *Involutions* وأعالى الأودية المتسعة الرأس بفعل انصهار الجليد *Dellens* والفجوات المقعرة فى الحافات الصخرية *Coombs* والتلال الانفرادية المستديرة الشكل *Rounded Knobs* والشواهد والجبال الصخرية المنعزلة *Tors* . هذا إلى جانب الظواهر الجيومورفولوجية الناتجة عن تحرك مواد الأرض *Mass Movements* من أعالى المنحدرات إلى أقدامها عن طريق فعل الجاذبية الأرضية وشدة الانحدار وتشبع الرواسب والمفتتات المتحركة بالمياه . ومن بين هذه الظواهر الأخيرة زحف التربة *Soil Creep* وزحف الصخور *Rock Creep* وانسياب المواد الطينية *Mud flows* وتساقط الصخور *Rock fall* والانزلاقات الأرضية *Landslides* .

أما فى المناطق الجليدية القارية وأثناء الفترات غير الجليدية تحمل الرياح المفتتات الارسابية وتنقلها لمسافات طويلة وترسبها فى مناطق قد تبعد مئات الأميال عن مصادرها الأصلية وهكذا تكونت تربة اللويس ، التى يرجح الباحثون أن ارساباتها الواسعة الانتشار قد نقلت من أواسط أوربا وشرقهاوأواسط آسيا إلى أن ترسبت فى شمال شرق الصين . أما على المناطق الساحلية كما هو الحال فى جنوب شرق انجلترا ومناطق بريتانى ونورماندى وشمال غرب فرنسا فتشاهد رواسب من التلال الساحلية الرملية الصغيرة الحجم أشبه بتربة اللويس تعرف باسم *Cover Sands* .

وقد أكدت نتائج الأبحاث الجيومورفولوجية أن المناطق الصحراوية الحارة الجافة التى نراها اليوم تحتل العروض المدارية كما هو الحال بالنسبة للصحراء الكبرى وصحارى مصر تعرضت لذبذبات عصر البلايوستوسين المناخية ، وقد تشكلت الظواهر الجيومورفولوجية فى هذه المناطق عن طريق فعل الأمطار

الغزيرة التى كانت تسقط عليها خلال الفترات المطيرة (تزامن الفترات الجليدية فى المناطق التى تأثرت بالجليد البلايوستوسيني) وتكونت ظواهر منها المجارى النهرية . أما خلال الفلترات الجافة فيشتد فعل الرياح فى المناطق الصحراوية الجافة وتتكون ظواهر أخرى مثل الكثبان الرملية بأشكالها المختلفة كما أن المجارى النهرية القديمة تصبح على شكل أودية جافة أو شبه جافة حيث أن الظروف المناخية التى كونتها فى الماضى غير الظروف المناخية الحالية .

وتجدر الاشارة إلى أثر تعاقب حدوث كل من الفترات الجليدية وغير الجليدية فى تغير مستوى سطح البحر خلال عصر البلايوستوسين ، فينجم عن حدوث الجليد والفترات الباردة انخفاض مستوى سطح البحر العام ، بينما خلال الفترات الدفيئة غير الجليدية ، ينصهر الجليد وتنساب المياه إلى البحر مرة أخرى ويؤدى ذلك إلى ارتفاع مستوى سطح البحر العام . ويؤثر اختلاف منسوب البحر فى تغيير أبعاده تبعا لتقدمه على الأرض المجاورة أو تراجعه عنها من ناحية وفى تطور المجارى النهرية التى تجرى على اليابس وفى مدى تجديد نشاطها وتشكيل التصريف النهرى من ناحية أخري

ثامنا : توضح دراسة الأقاليم المناخية المتباينة في العالم أسباب اختلاف عوامل التعرية التي تؤثر في تشكيل مظهر كل إقليم :

تتشكل عوامل التعرية بل والتجوية كذلك تبعا لاختلاف كل من درجات الحرارة وكمية التساقط ونسبة الرطوبة وشدة الرياح فى أقاليم العالم المختلفة ، وتبعا لهذه العناصر الأخيرة تتشكل كذلك الغطاءات النباتية فى العالم وتتنوع كثافتها من مكان إلى آخر ، وتؤدى إلى تباين أنواع التربة فى كل إقليم . ويمكن القول أن كل هذه العوامل الطبيعية مجتمعة لها دورها المهم فى تشكيل عوامل التعرية نفسها من ناحية ، وفى مدى سرعة أداء عملها من ناحية أخرى ، وعلى هذا الأساس تختلف عوامل التعرية من إقليم إلى آخر تبعا لتنوع الأقاليم المناخية على سطح الأرض .

وقد استخدمت المدارس الجيومورفولوجية الفرنسية والألمانية هذا المفهوم ووضعت على أساسه مبادئ الجيومورفولوجيا المناخية .

ويتمثل فى الأقاليم المناخية القطبية ظواهر خاصة ناتجة عن فعل الجليد مثل الثلاجات *Glaciers* والحلبات الجليدية *Corries* والبحيرات الجليدية *Glacial lakes* وتتمثل فى الأقاليم شبه الجليدية *Periglaciated Regions* ظواهر خاصة تتكون بفعل تتابع حدوث التجمد والانصهار وذلك مثل الظواهر الناتجة عن عمليات زحف المواد *Mass Movements* والانزلاقات الأرضية *Landslides* وكذلك الحال بالنسبة لبقية الأقاليم المناخية الأخرى مثل الأقاليم المناخية الصحراوية والمدارية شبه الرطبة والمدارية الرطبة والاستوائية .

وحيث إن المناخ «عامل» غير ثابت بالنسبة لمنطقة ما على سطح الأرض ، وأنه يتغير من فترة إلى أخرى فإنه ينتج عن ذلك تغير فى مدى فعل عوامل التجوية والتعرية التى تشكل أجزاء سطح الأرض . على سبيل المثال كان لفعل التساقط والتعرية النهرية خلال النصف الثانى من عصر البلايوستوسين أثرا كبيرا فى تشكيل الصحراء الشرقية فى مصر ، أما بعد أن تغير المناخ إلى فترة حارة جافة فى الوقت الحاضر فإن هذه الأودية النهرية أصبحت اليوم أودية جافة تقطع أرض الصحراء الشرقية وتتأثر بشدة بفعل التجوية الطبيعية *Mechanical weathering* وبفعل الرياح .

تاسعا : علي الرغم من أن الجيومورفولوجيا تختص أساسا بدراسة الظاهرات الجيوموروفولوجية الحالية ، إلا أنه يجب الإلمام بدراسة التاريخ الجيومورفولوجي لهذه الظاهرات كذلك ، حتي يمكن معرفة نشأتها وأسباب تباين أشكالها :

تختص الجيومورفولوجيا بدراسة الظاهرات الجيومورفولوجية الحالية ، ولكن لتعزيز فهم نشأة هذه الظاهرات والعوامل المختلفة التى أدت إلى تشكيلها ينبغى دراسة مراحل تطورها الجيومورفولوجى كذلك . وتحدد هذه المراحل إما عن طريق الرواسب وما تدل عليه فى كيفية نشأة هذه الظواهر

وعمرها النسبى (خاصة إذا كانت ترجع إلى الزمن الرابع) . وعن طريق الأدلة الجيومورفولوجية الأخرى خاصة إذا كان عمر هذه الظواهر أقدم من عصر البلايوستوسين ، وذلك فى حالة عدم وجود رواسب تدل على العوامل التى كونتها . ومن بين الأدلة الجيومورفولوجية التى يستخدمها الباحث الجيومورفولوجى عند معرفة العمر النسبى للظواهر ومراحل تطورها :

أ – بقايا السهول التحاتية ودراسة توزيعها الجغرافى .
ب – شكل التصريف النهرى .
جـ – الاختلاف فى المظهر الجيومورفولوجى لظواهر سطح الأرض .
د – نتائج الدراسات الجيومورفولوجية المقارنة بمنطقة الدراسة بغيرها من المناطق المجاورة لها .

وأول من أشار إلى هذا النوع من الدراسة الأستاذ جيمس هاطون من خلال المفاهيم الأولى التى توصل إليها والتى تتلخص فى أن «الحاضر مفتاح الماضي» وفى «التطور البطئ التدريجى لظواهر سطح الأرض» ، وقد استفاد وليم موريس دافيز بهذه المفاهيم كلها ونظمها فيما أطلق عليه تعبير «الدورة التحاتية» لظواهر سطح الأرض .

وعند دراسة بقايا أسطح التعرية *Erosion surface remnants* المختلفة ، فى منطقة ما ، تدل هذه الدراسة على التطور الجيومورفولوجى ومن ثم يمكن تأريخ المراحل الرئيسة للتعرية فى المنطقة *Denudation chronology* من ناحية ، ويمكن رسم ملامح التصريف النهرى الأصلى *Initial drainage* وشكل سطح الأرض خلال العصور الجيولوجية القديمة ابان تطور المنطقة ونشأتها من ناحية أخرى . ومن هنا تهتم الجيومورفولوجيا الدافيزية من وضع تصور لمظاهر سطح الأرض وظواهره القديمة وتعرف هذه الدراسة باسم الجيومورفولوجيا القديمة *Palaeogeomorphology* .

الباب الثانى

أثر التكوين الصخري ونظام بنية الطبقات في تشكيل بعض الظاهرات الجيومورفولوجية التركيبية النشأة

الفصل السادس : بعض الظاهرات الجيومورفولوجية التركيبية النشأة التي تتكون في الطبقات الصخرية الأفقية .

الفصل السابع : بعض الظاهرات الجيومورفولوجية التركيبية النشأة التي تتكون في الطبقات الصخرية المائلة .

الفصل الثامن : بعض الظاهرات الجيومورفولوجية التركيبية النشأة التي تتكون في القباب الصخرية والطبقات الإلتوائية .

الفصل التاسع : بعض الظاهرات الجيومورفولوجية التركيبية النشأة التي تتكون في المناطق الصدعية .

الفصل العاشر : بعض الظاهرات الجيومورفولوجية التركيبية النشأة التي تتكون في المناطق البركانية .

الفصل السادس

بعض الظاهرات الجيومورفولوجية التركيبية النشأة التي تتكون في الطبقات الصخرية الأفقية

على الرغم من أن ظواهر سطح الأرض تتشكل بفعل عوامل التعرية المختلفة والتى يتنوع مدى فعل كل منها من مكان إلى آخر ، بل وفى المكان الواحد من زمن إلى آخر إلا أن هناك مجموعة من الظواهر الجيومورفولوجية ترتبط نشأتها بالتكوين الصخرى ونظام بنية الطبقات ، فى حين يقتصر فعل عوامل التجوية والتعرية فى هذه الحالة على التشكيل الخارجى لهذه الظواهر . ويطلق على هذه المجموعة من الظواهر تعبير ظواهر سطح الأرض التركيبية النشأة *Structurally controlled features* .

وقبل الحديث عن أهم هذه الظاهرات فى حالة ما إذا كانت الطبقات الصخرية أفقية أو مائلة أو إلتوائية أو صدعية يحسن أن نحدد ما هو المقصود بكل من التكوين الصخرى ، ونظام بنية الطبقات .

(أ) **التكوين الصخري** *Lithology* :

ويقصد بذلك المواد التى يتألف منها الصخر ومدى تجانس هذه المكونات ومدى صلابتها ، وخصائص الفتحات والشقوق الصخرية التى قد توجد بها .

وتؤثر صلابة الصخر أو ليونته فى مدى سرعة تشكيل الظاهرات الجيومورفولوجية وتكوينها . ويمكن القول أن الصخور الصلبة وتلك ذات المادة اللاحمة الشديدة الصلابة تقاوم فعل عوامل التعرية ولا يبدو أثر الأخيرة فيها واضحا إلا بعد مرور فترة طويلة من الزمن ، فى حين نلاحظ أن الصخور اللينة وتلك ذات المادة اللاحمة الضعيفة التماسك سرعان ما تتآكل عند تعرضها لفعل عوامل التعرية (لوحة ٢) . ومن الصعب أن نجد نوعا ما من



(لوحة ٢) اختلاف التكوين الصخرى بين طبقات لينة وأخرى صلبة نسبيا فى فعل التجوية المتباين للصخور الجيرية وتبدو الحافة الرأسية واضحة على جانب وادى آل نهيان (جبل حفيت جنوب مدينة العين دولة الإمارات - تصوير الباحث)

الصخور ونصفه بأنه صلب فى جميع أجزائه أو أنه لا يتأثر مطلقا بواسطة عوامل التعرية وذلك لأن أى نوع من الصخور يتكون عادة من معادن مختلفة ، وكل معدن منها له درجة معينة من الصلابة ولذا قد تختلف أجزاء الصخر الواحد فى مدى تأثرها بعوامل التجوية الميكانيكية أو الكيميائية . ولكن يمكننا القول بأن هناك نوعا من الصخور قد يكون أشد صلابة من نوع آخر وبالتالى قد يتحمل فعل التجوية أو التعرية مدة زمنية أطول من النوع الآخر . وعلى سبيل المثال تعتبر الأحجار الرملية من الصخور الصلبة التى تقاوم فعل التعرية خاصة فى المناطق الجافة وذلك يرجع إلى تركيبها المعدنى ونوع المادة اللاحمة لحبيباتها . وفى المناطق الرطبة كذلك تعتبر الأحجار الرملية أشد صلابة وتقاوم فعل التعرية المختلفة عن الصخور الطينية الصلصالية وذلك لأن الأخيرة سرعان ما تتآكل بسرعة عند تعرضها لفعل التعرية النهرية أو البحرية .

وهناك عوامل متعددة تؤثر فى التكوين الصخرى ومدى مقاومة التركيبات الصخرية المختلفة لفعل عوامل التعرية ، ومن بين هذه العوامل صلابة الصخر *Hardness* فعندما تكون التكوينات الصخرية شديدة الصلابة كثيرا ما ينجم عنها تكوين الأراضى المرتفعة فى المنطقة التى تتمثل فيها . ففى الجزر البريطانية تقف التكوينات الجيولوجية الصلبة التابعة لفترة ما قبل الكمبرى *Pre - Cambrian* لمرتفعات مالفيرن *Malvern Hills* على شكل حافات شديدة الصلابة هائلة الارتفاع فوق الأراضى السهلية المجاورة لها والمكونة من تكوينات جيولوجية لينة ترجع للعصرين الجيولوجيين الديفونى والترياسى . وتعزى الحافات الصخرية المرتفعة فى منطقة غابة شارنوود *Charnwood Forest* بانجلترا إلى نفس تكوينات ما قبل الكمبرى الصلبة والممثلة فى مرتفعات مالفيرن . وبوجه عام يمكن القول أن التكوينات الصخرية القديمة الصلبة فى الجزر البريطانية تكون الحافات والأراضى المرتفعة فى القسمين الشمالى والغربى منها ، فى حين أن التكوينات الصخرية الأحدث عمرا والأقل صلابة تكون السهول الشرقية والجنوبية فى الجزر البريطانية . وعلى الرغم من تعرض التكوينات الجوراسية الصلبة الجيرية والدولوميتية فى الأراضى اللبنانية لفعل التعرية الشديدة والتجوية الكيميائية إلا أنها تكون الحافات العالية اللبنانية ممثلة فى مناطق القرنة السوداء والأرز ومرتفعات كسروان وصنين والباروك ونيحا .

ولنفاذية الصخر للمياه *Permeability* التى تغلغل فى تكويناته دورها فى تشكيل الظواهر التضاريسية لسطح الأرض بل وما يقع تحت السطح ، وقد يظهر تأثير هذا العامل فى تشكيل التكوين الصخرى وعلاقته بعوامل التجوية والتعرية فى المناطق الرطبة الغزيرة الأمطار ، أو تلك التى تتأثر بالمياه الجوفية . فإذا كان الصخر منفذا للمياه وتقع تكويناته فى مناطق من الصحارى الحارة الجافة فقد تظهر تلك التكوينات على شكل حافات صخرية عالية شديدة الانحدار ، أما إذا كانت نفس هذه التكوينات تقع فى مناطق

غزيرة الأمطار فيتشكل الصخر بفعل المياه الجوفية ، وقد تتعرض كثير من معادنه لعمليات الاذابة .

ويتأثر التكوين الصخرى *Lithology* كذلك بمدى تأثر التكوينات الصخرية لفعل الشقوق الواسعة *Joints* والتشقق الصخرى (شقوق ضيقة) *Cracking or cleavage* والفتحات الصخرية ذات التركيب الصخرى الشيستوزى *Schistosity* ومدى تقارب الأسطح الفاصلة بين الطبقات الصخرية (أسطح الطبقات *Bedding planes*) . وتؤثر كل هذه العوامل الثانوية بدورها فى مدى سرعة فعل التجوية *Rate of Weathering* وسرعة استجابة الصخر للتشكيل بفعل عوامل التعرية *Erosion processes* . فقد تكون حبيبات الصخر شديدة التماسك غير أنه قد يكون كذلك منفذا للمياه عن طريق كثرة الشقوق الواسعة التى تقطعه كما هو الحال بالنسبة للصخور الجيرية الكربونية فى انجلترا . ويؤثر عدم تجانس الطبقات *Non-homogenous* فى تشكيل الظواهر التضاريسية تبعا لتباين أثر فعل عوامل التجوية والتعرية *Differential erosion and weathering* على هذه الطبقات غير المتجانسة . فإذا كانت التكوينات الصخرية تتألف من طبقات شديدة الصلابة متعاقبة فوق طبقات أخرى لينة وتأثرت بالصدوع فقد تتكون فى هذه الحالة حافات صدعية *Fault Scarps* فى الطبقات التى رميت إلى أعلى . وتتمثل هذه الحافات الأخيرة فى كل من التكوينات الصلبة العليا والتكوينات اللينة السفلى . وتعمل عوامل التعرية (تعرية نهرية مثلا) على نحت التكوينات اللينة بسرعة ، ومن ثم تتعرض أجزاء من الحافات الصلبة للتساقط وللتراجع على الرغم من شدة مقاومتها لعوامل التعرية . ويتألف مظهر سطح الأرض فى هذه الحالة من حافات صخرية عالية شديدة الانحدار وأودية عميقة تقع تحت أقدام هذه الحافات . أما إذا كانت هذه التكوينات الصخرية متجانسة وشدية الصلابة فتظهر حافات عالية بارزة فوق أراضى سهلية مجاورة لها ، فى حين أنه إذا كانت التكوينات الصخرية متجانسة ولينة

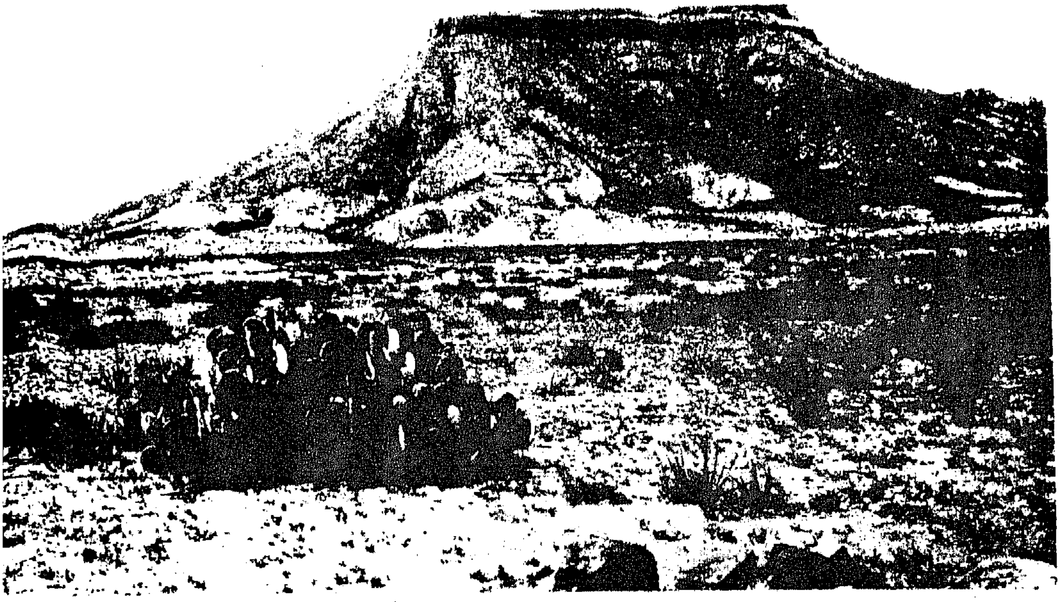
فكثيرا ما تظهر على شكل أراضى سهلية واسعة الامتداد .

(ب) نظام بنية الطبقات *Structure* :

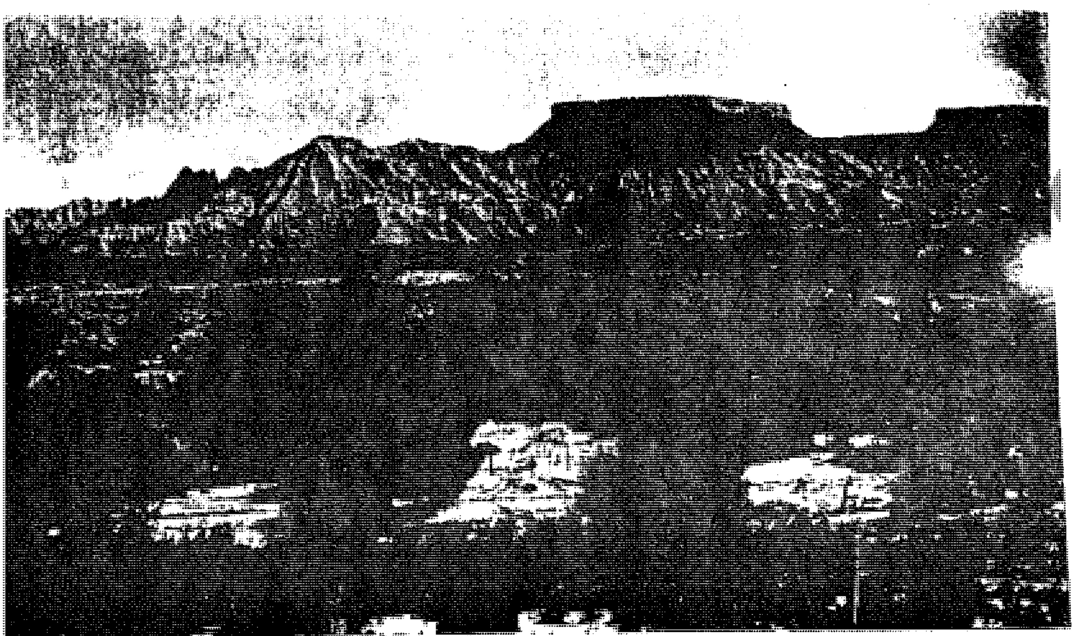
ويقصد بهذا التعبير هنا ، مظهر بناء الطبقات سواء أكانت أفقية أو مائلة أو صدعية أو منثنية محدبة أو منثنية مقعرة ، أو كتل بركانية ، ومدى تأثرها بفعل الشقوق والفوالق .

ويؤثر ميل الطبقات الجيولوجية *dip* فى التوزيع الجغرافى والسمك الظاهرى *Apparent thickness* لهذه الطبقات على سطح الأرض ، وعلى سبيل المثال قد يغطى السطح المنكشف لطبقة جيولوجية سمكها ١٠٠٠ قدم مساحات واسعة من سطح الأرض تربو على عدة مئات من الأميال المربعة خاصة إذا كانت هذه الطبقات أفقية *Horizontal* كما هو الحال بالنسبة للطبقات الطباشيرية الأفقية فى سهل ساليسبرى *Salisbury* فى انجلترا . أما إذا كانت هذه الطبقات رأسية الميل *Vertical* فإن سمكها الظاهرى واتساع سطحها المنكشف على سطح الأرض يصل إلى نحو ١٠٠٠ قدم . أى أن السمك الظاهرى للطبقة الرأسية يتساوى فى هذه الحالة مع السمك الحقيقى *True thickness* لها ، كما هو الحال بالنسبة للطبقات الطباشيرية فى بعض أجزاء من جزيرة وايت *Isle of wight* المجاورة للساحل الجنوبى لانجلترا . وحيث إن عوامل التعرية يشتد فعلها فى المناطق الشديدة الميل عامة ، فتظهر الطبقات الصخرية فى الحقل على مناسيب مرتفعة غالبا ما تكون أفقية أو بسيطة الميل ، فى حين أن الطبقات الصخرية الرأسية الميل تتعرض بشدة لفعل عوامل التعرية وتلاحظ هذه الاختلافات المورفولوجية عند دراسة الطبقات الطباشيرية فى جنوب انجلترا .

ومن الدراسات الحقلية يتبين أن ميل الطبقات له دوره المهم فى تكوين ظواهر جيومورفولوجية مميزة . فالموائد الصخرية *Mesa* ترتبط بالطبقات الأفقية الميل (لوحة ٣ ولوحة ٤) فى حين أن ظاهرة الكوستات *Cuestas* ترتبط بالطبقات البسيطة أو الهينة الميل أما الحافات الرأسية *Homoclinal*

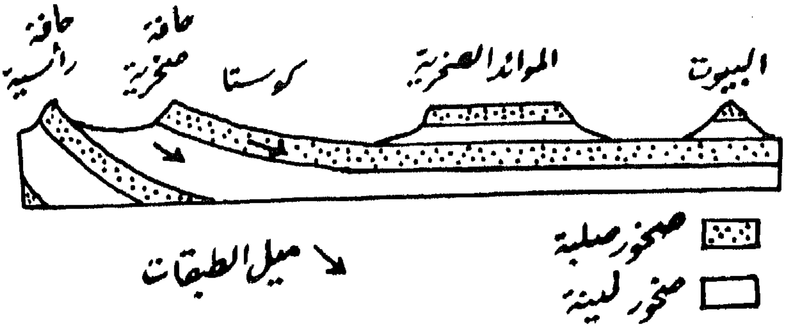


(لوحة ٣) مائدة صخرية فى طبقات رسوبية أفقية غير متجانسة
فى شمال شرق إقليم سوليتاريو- ولاية تكساس



(لوحة ٤) أثر تباين التكوين الصخرى فى الطبقات الأفقية وفى نشوء الموائد الصخرية
فى صحارى جنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية

ridges فتتكون فى الطبقات الرأسية الميل ، كما يشاهد فى الحقل ظواهر تركيبية خاصة فى كل من الثنيات الصخرية المحدبة والثنيات الصخرية المقعرة والطبقات الصدعية (شكل ٢٥) .



(شكل ٢٥) أثر ميل الطبقات فى تكوين بعض الظاهرات التركيبية النشأة

أولا : بعض الظاهرات الجيومورفولوجية التي تتكون في الطبقات الأفقية عند تعرضها لفعل التعرية النهرية :

يظهر أثر اختلاف التكوين الصخرى ونظام بنائه فى تشكيل بعض الظاهرات الجيومورفولوجية واضحا عند دراسة الأودية النهرية وفحص جيومورفولوجية مجاريها . فقد تتوقف خصائص القطاع الطولى للنهر بدرجة ملحوظة على اختلاف نوع الصخور التى يجرى فوقها هذا النهر . ويختلف بالتالى انحدار مجرى النهر وسرعته من مكان إلى آخر تبعا لهذه الأنواع المختلفة من الصخور . فإذا تعرض مجرى النهر لصخور صلبه ، فإن هذه الصخور تعمل على الحد من فعل التعرية النهرية ومقاومة كل من النحت الرأسى والجانبى للنهر *Vertical and lateral erosions* ، وتأخير وصول النهر إلى مرحلة الثبات أو مرحلة مستوى القاعدة العام *Base level* .

أما الصخور اللينة التى قد يجرى فوقها النهر فهذه سرعان ما تتآكل عندما تتعرض لفعل التعرية النهرية نتيجة لتوالى عمليات النحت الرأسى والجانبى للنهر . وعندما يجرى النهر فوق طبقات صخرية مركبة من صخور صلبة

متعاقبة فوق طبقات من الصخور اللينة قد يؤدى ذلك إلى تكوين الشلالات والجنادل . ففى هذه الحالة تتآكل الصخور الأفقية اللينة بدرجة أسرع من تآكل الصخور الأفقية الصلبة . ولكن خلال مدة طويلة من الزمن (تصل عادة إلى عدة آلاف من السنين) قد يعمل النهر على تآكل كل هذه الأنواع المختلفة من الصخور وتسوية مجراه ، وينحدر القطاع الطولى للنهر انحدارا بطيئا نحو البحر الذى يصب فيه النهر ، ويكون مجرى النهر فى هذه الحالة قد وصل إلى مرحلة الثبات *State of equilibrium* .

وفى مناطق الطبقات الصخرية الصلصالية فى جنوب شرق جبال البنين البريطانية *Pennines* تتكون مجموعة من الأودية الجافة فى طبقات الصلصال ، ولكنها الآن ليست فى حالة النمو السريع كما كان حالها من قبل . ومن ثم أكد معظم الباحثين بأن نشأتها وظروف تكوينها ترجع إلى زمن آخر وتطورت تحت ظروف مناخية تختلف عن تلك التى تتعرض لها اليوم (١) . وجدير بالذكر أن الصخور على اختلاف صلابتها ليست هى العامل الوحيد الذى يؤثر فى تشكيل القطاع الطولى للنهر ، ولكن ارتفاع منسوب البحر الذى يصب فيه النهر أو انخفاضه لهما أيضا أكبر الأثر فى تجديد نشاط النهر وعلى سرعة انجاز فعل التعرية النهرية عامة .

وفى حالة انخفاض منسوب البحر يعمل النهر على تآكل مجراه بشدة وزيادة قوة النحت الرأسى ونحت جوانبه بسرعة لكى يصل مجراه إلى المستوى الذى انخفض إليه سطح البحر . وعلى ذلك يتكون على طول مجراه ما يعرف باسم نقط أو علامات تجديد نشاط النهر *Points of rejuvenation or Knick-points* .

وفى مقاطعة ناتال بجنوب أفريقيا يتألف التكوين الصخرى هنا من

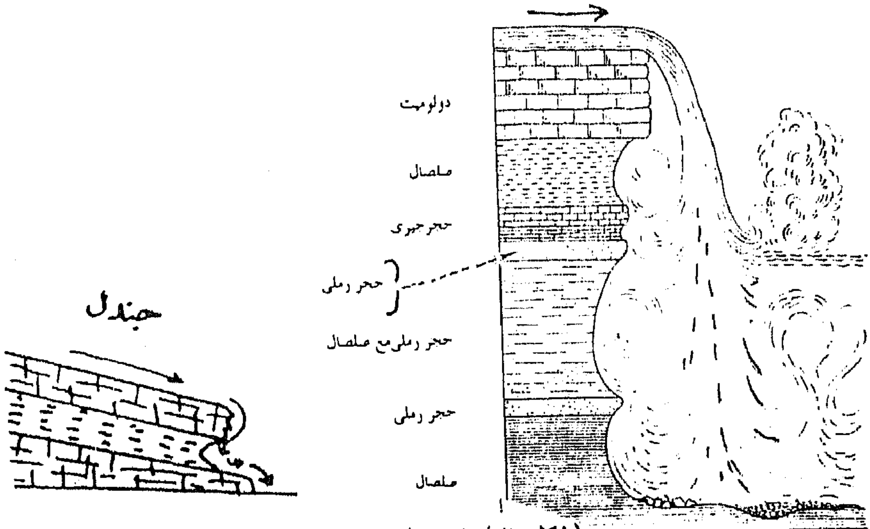
(1) Abou El-Enin H. S, "Some aspects of the drainage evolution" The Northern Univ. Geographical Journal, No. 5 (1964), 45 - 54.

طبقات أفقية من الحجر الرملي متعاقبة فوق طبقات أفقية أخرى من الصخور الطينية ويتداخل فى هذه الصخور كذلك سدود أو عروق دولوريتية وبازلتية . وتبعا لجريان الأنهار فوق هذه الصخور غير المتجانسة التركيب تتكون المصاطب والشلالات والجنادل فى أجزاء مختلفة على طول مجاريها . وبالتالى تتميز القطاعات الطولية لمجارى الأنهار فى ناتال بظهورها على شكل مصاطب متدرجة . وحيث إن ظاهرة الشلالات تعد من بين أهم الظواهر الجيومورفولوجية التى تنجم تبعا لجريان النهر فوق صخور مختلفة التكوين الجيولوجى وفى نظام بنائها ، لذا يحسن أن نشير إلى كيفية تكوين هذه الظاهرة

الشلالات والجنادل :

ان جريان النهر فوق تكوينات صخرية تتألف من طبقات أفقية صلبة متعاقبة فوق طبقات أفقية لينة يؤدى غالبا إلى تكوين الشلالات والمساقط المائية . ومن ثم تتكون جيولوجية مناطق الشلالات الكبرى فى العالم من صخور أفقية شديدة الصلابة تتعاقب فوق صخور لينة . وهذه الصخور الأخيرة سرعان ما تتآكل بفعل عوامل التعرية المائية . وتحت أقدام الشلالات الكبرى تتكون عادة برك أو تجويفات مائية عميقة بواسطة فعل التساقط الشديد للمياه ، وغالبا ما يتساوى عمقها مع ارتفاع الشلال أو المسقط المائى نفسه . وتبعا لتآكل الصخور السفلى اللينة بدرجة أسرع منها فى الصخور العليا الصلبة ، تعمل المياه على حفر تجويفات عميقة فى ظهر الشلال كما يظهر ذلك فى شكل (٢٦) .

وتساعد عملية تآكل الصخور السفلى اللينة على التراجع الخلفى للشلال حيث تعمل المياه الساقطة من أعالى الشلال والدوامات المائية على نحت الصخور اللينة بسرعة وتجويفها . ويؤدى ذلك بدوره إلى عدم ثبات الصخور العليا التى قد تتعرض للتشقق ، وسرعان ما تتجزأ إلى كتل وجلاميد صخرية تتساقط من أعالى الشلال . وتنقل الكتل الصخرية المتساقطة بفعل جريان



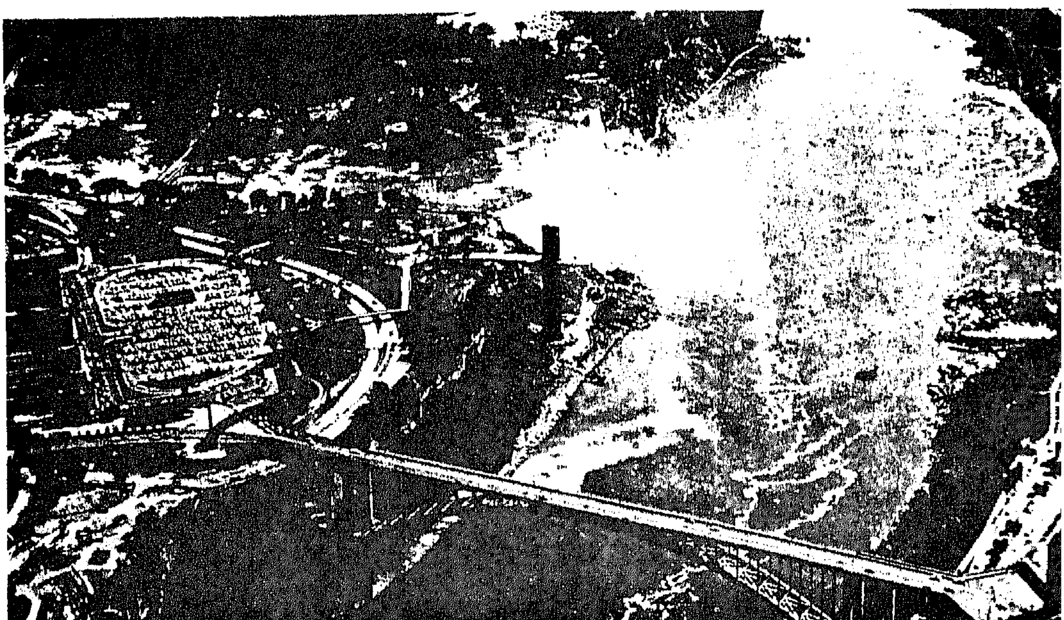
(شكل ٢٦) تكوين الشلالات والجنادل

المياه إلى الأجزاء الدنيا من النهر ، وقد يؤدى تراجع الشلال بدوره إلى تكوين شلالات ثانوية مماثلة فى أعالى النهر وكذلك على طول روافده الصغرى . وتتميز هذه الشلالات الأخيرة بصغر حجمها وانخفاض منسوبها نسبيا . ومن بين أمثلة ذلك ما يتمثل فى روافد نهر أورانج *Orange* بجنوب أفريقيا (جنوب شلالات أوفرابيس *Auphrabies falls*) وكذلك فى روافد نهر أمجنى *Umgeni* جنوب بلدة هاويك *Howick* .

ونتيجة للتراجع الخلفى فإن هذه العملية تؤدى بالتدريج إلى انخفاض منسوب الشلال ذلك لأن مجرى النهر يعمل دائما للوصول إلى مرحلة الثبات .

وتجدر الإشارة إلى أن الشلالات قد تتكون كذلك عندما يشق مجرى النهر صخورا مائلة مختلفة التركيب الجيولوجى . وقد تبين أن الشلالات التى تتكون فى الصخور التى تميل طبقاتها نحو أعالى النهر كثيرا ما تكون أكثر ارتفاعا من تلك التى تتكون فى الطبقات الأفقية ، أما الشلالات التى تتكون فى الطبقات الصخرية التى تميل طبقاتها نحو الأجزاء الدنيا من النهر غالبا ما تؤدى إلى تكوين الجنادل (شكل ٢٦) .

ومن بين أظهر شلالات العالم تلك المعروفة باسم شلالات نياجارا على نهر سنت لورنس عند الحدود الأمريكية الكندية (لوحة ٥) وشلالات يللوستون فى ولاية وايومنج (لوحة ٦) وشلالات فكتوريا فى الجزء الأعلى من نهر الزمبيرى فى روديسيا الشمالية ، والتى يبلغ ارتفاعها نحو ٤٠٠ قدم فوق سطح مياه النهر . وأهم ما يميز هذه الشلالات أن الخانق النهرى أسفل الشلال عند بلدة لفنجستون لا يمتد مع الامتداد الطولى للشلال بل يمتد عموديا عليه ويبدو مسار المجرى مع الشلال على شكل زاوية قائمة . وقد أدى خانق الشلال إلى تكوين منعطفات فى مجرى النهر ويحيط جانبيها حوائط صخرية هائلة الارتفاع . وترجع هذه الظواهر الجيورمورفولوجية المختلفة إلى تباين التكوين الصخرى . وقد دلت الدراسات الجيولوجية على أن منطقة شلالات فيكتوريا يتداخل فيها لافا بازلتية كبيرة السمك ، ولكنها مقطعة بواسطة فتحات فوالق وانشقاقات ذات اتجاهين متشابكين ومتقابلين بزوايا قائمة . ومن ثم فإن



(لوحة ٥) شلالات نياجارا



(لوحة ٦) شلالات يللوستون فى التكوينات الأفقية الميل ـ وايومنج الولايات المتحدة الأمريكية

منعطفات النهر هى الأخرى متأثرة بهذين الاتجاهين . وقد عثر الباحثون حول شلالات فيكتوريا على أدلة تاريخية من الأدوات والبقايا البشرية ، التى تؤكد أن الانسان كان يعيش حول هذه الشلالات منذ أواسط عصر البلايوستوسين ، كما استنتج الأستاذ كنج *L. C. King* عام ١٩٥٧ فى دراساته الجيومورفولوجية للمنطقة بأن هذه الشلالات كانت موجودة خلال عصر البلايوستوسين وتراجعت خلفيا نحو خمسة أميال منذ ذلك العصر الأخير حتى الوقت الحاضر .

ثانيا بعض الظاهرات الجيومورفولوجية التركيبية الأخري التي تتكون عادة في الطبقات الصخرية الأفقية :

عندما تتعرض الطبقات الصخرية الأفقية المختلفة التكوين الجيولوجى لفعل عوامل التعرية المختلفة قد ينجم تبعا لتآكل الصخور الأفقية الرخوة اللينة بدرجة أكبر منها فى الصخور الصلبة تكوين سهول صخرية واسع الامتداد

مستوية السطح يطلق عليها السهول الصخرية *Structural plains* . ويجب أن نميز بين كل من هذه السهول الأخيرة والسهول التحاتية *Erosional plains* . فبينما يتوقف تكوين السهول الصخرية الجيولوجية تبعا لتباين التكوين الصخرى فإن نشأة النوع الآخر من السهول يرتبط بإختلاف منسوب سطح البحر وأثر نشاط التعرية النهرية ومدى فعل النحت الرأسى والجانبى للأنهار أو تبعا لفعل تعرية الأمواج فى صخور الشاطئ المجاور ، وينتج عن ذلك تكوين السهول التحاتية البحرية .

وتتشكل المناطق الساحلية فى مقاطعة ناتال فى جنوب أفريقيا بمجموعات من السهول الصخرية التى تكونت فوق صخور الحجر الرملى الأفقية الصلبة ، وإذا تعرضت هذه السهول الصخرية لعمليات التعرية النهرية وتجزأت وانقسمت بواسطة المجارى النهرية ، فإنها تتقطع عادة إلى هضيبات صغيرة المساحة نسبيا ذات جدران أو جوانب شديدة الانحدار تبدو على شكل حوائط عالية ويطلق عليها اسم الموائد الصخرية *Mesa* .

وقد تتعرض الموائد الصخرية بدورها لعمليات النحت المتتالية ولفعل التراجع على طول جوانبها الشديدة الانحدار ، ويزداد التراجع فى نطاق الصخور اللينة بحيث يضعف توازن الصخور الصلبة العليا إلى أن تتعرض هى الأخرى لفعل السقوط والتآكل . وعندما تزداد عمليات النحت والتراجع بحيث يصبح ارتفاع المائدة الصخرية أكبر من امتداد سطحها العلوى فإن الظاهرة الناتجة تعرف فى هذه الحالة باسم البيوت (أو الشواهد الصخرية) *Buttee* . وتحت أقدام هذه الظاهرة الأخيرة تتكون عادة أكوام هائلة من الصخور المفتتة والرمال والأتربة على شكل أهرامات ترابية يطلق عليها اسم المخروطات الإرسابية *Scree or Talus Slope* . وتنتشر ظاهرة الموائد الصخرية فى مقاطعتى الكاب وناتال فى جنوب أفريقيا . وأظهر أمثلتها تلك المعروفة باسم الأخوات الثلاثة *The Three Sisters* الواقعة على الخط الحديدى شمال مدينة بيفورت *Beaufort West* فى جنوب أفريقيا . وتتمثل

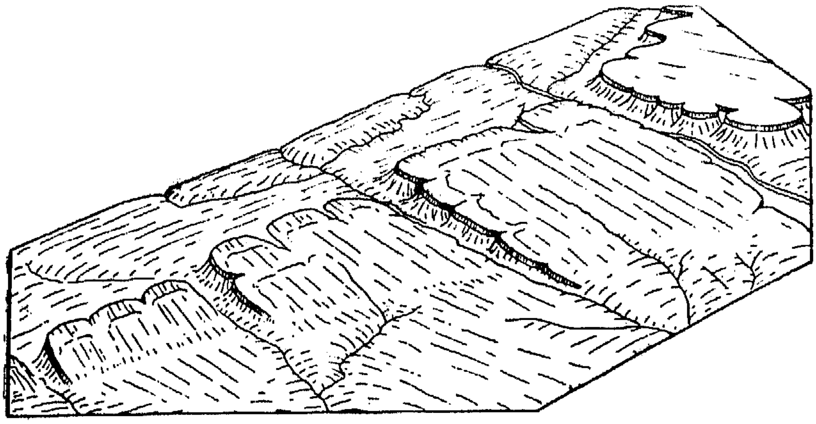
ظاهرة الموائد الصخرية بشكل كبير فى صحراء موجاف (بولاية كاليفورنيا - الولايات المتحدة الأمريكية) وخاصة فى حوض دانبى الصحراوى . ويلاحظ أن الموائد الصخرية هنا صغيرة الحجم نسبيا تبعا لتقطعها لفعل الأودية المتعمقة شبه الجافة والتراجع الخلفى لمنحدراتها . كما تتكون بعض الموائد الصخرية فى منطقة لارامى - وايومنج - بالولايات المتحدة الأمريكية . ويلاحظ أن عوامل التعرية المختلفة شكلت تكوينات الموائد الصخرية فى منطقة لارامى ، حتى أصبح بعضها يظهر على شكل يشبه جمل من الصخر ، ومن ثم عرفت هذه التكوينات باسم «صخور الجمل» *Camel Rocks* ويمكن مشاهدة نماذج متعددة للموائد الصخرية فى المناطق الحارة الجافة فى صحراء مصر الشرقية وشبه الجزيرة العربية .

الفصل السابع

بعض الظاهرات الجيومورفولوجية التركيبية النشأة التي تتكون في الطبقات الصخرية المائلة

اذا تميزت الطبقات الصخرية بدرجة ميل واضحة أو بمعنى آخر كانت الطبقات الصخرية تميل ميلا ملحوظا عن المستوى الأفقى لها فإنه قد ينجم عن ذلك تكوين بعض الظاهرات الجيومورفولوجية المتميزة ومنها تلك التى تعرف باسم ظاهرة الكوستات *Cuesta-features* والكوستا ظاهرة جيومورفولوجية تركيبية النشأة *Structurally - Controlled Features* ترجع نشأتها إلى أثر الاختلاف فى تكوين الطبقات الصخرية ونظام بنائها . ويتألف الشكل العام لهذه الظاهرة من انحدا ر شديد فى اتجاه مضاد أو مظاهر لميل الطبقات ويعرف باسم الحافة *Escarpment* بينما يميل سطح الكوستا ببطء شديد مع اتجاه يتفق ميل الطبقات *Dip* ، ويطلق عليه اسم انحدار ميل الطبقات أو انحدار ظهر الكوستا *Dip-slope* . وتتكون حافة الكوستا *Escarpment* نتيجة لفعل التعرية الرأسية والأفقية وكذلك بفعل التعرية الهوائية أو البحرية فى نحت وتعميق صخورها .

أما إذا كان ميل الطبقات الصخرية شديدا وأدى ذلك إلى تكوين حافات صخرية شديدة الانحدار وكان انحدار سطح ميل الطبقات المضاد لاتجاه انحدار الحافة الصخرية شديدا كذلك ، فإن الظاهرة الجيومورفولوجية الناتجة يطلق عليها فى هذه الحالة اسم الحافات الرأسية *Homoclinal Ridges* . (شكل ٢٧) ونتيجة لفعل عوامل التعرية المختلفة تتعرض حافات الكوستات والحافات الرأسية إلى التراجع الخلفى التدريجى فى اتجاه ميل الطبقات ، ويساعد سرعة تراجع الحافات الصخرية تعرضها إلى حدوث فعل انزلاق الأرض *Landslides* وتعميق الأودية الجبلية *Gullies* ، وتعرف عملية تراجع



(شكل ٢٧) أثر ميل الطبقات فى تكوين الموائد الصخرية والكوستات والحافات الرأسية

الحافات باسم *Scarp Recession or Homoclinal Shifting* .

وحيث أن هذه الظاهرات الجيومورفولوجية هى أهم الظاهرات التى تنشأ تبعا لتباين التكوين الصخرى ونظام بنائه فى جميع بقاع العالم وأنها الظاهرة الجيومورفولوجية الوحيدة التى يمكن أن يستدل الباحث منها على بنية الطبقات وتركيبها بدقة ، فيحسن أن نقوم بدراستها بشئ من التفصيل (١) .

(١) من بين الرسائل العلمية التى اختصت بدراسة هذه الظاهرة :

a) Abou El-Enin, H. S., "The geomorphology of the Moss Valley ..." M. A. Thesis, Sheffield Univ. (1962).

b) Doornkamp, John, "The Dore Cuestas in the Sheaf Valley" M. Sc. Thesis, Sheffield Univ. (1962).

ظاهرة الكوستا

تعريفها وخصائصها الجيومورفولوجية

لم يحدد معظم الباحثين ظاهرة الكوستا وأجزائها المختلفة تحديدا دقيقا فى دراساتهم ، كما لم يميز الباحثون بدقة بين كل من المصطلحات المختلفة المعروفة باسم ، قنطرة الكوستا *Cuesta-bridge* وانحدار ميل الطبقات *Dip-slope* والحافات الصخرية *Scraps or Escarpments* وجناح أو جانبى الكوستا *Cuesta flanks* ومقدمة أو أنف الكوستا *Cuest-nose* .

وقد ذكر الأستاذ بيل *Peel 1952* أن بعض الجيولوجيين والجيومورفولوجيين البريطانيين استخدموا تعبير الحافة مرادفا لظاهرة الكوستا . بينما يستخدم الجيومورفولوجيون فى أمريكا تعبير الحافة عادة لكى يرمز إلى الانحدار الشديد أو الحافة الشديدة الانحدار لجانب الكوستا والمنحدرة فى عكس اتجاه ميل الطبقات . بينما يرمز تعبير انحدار ميل الطبقات *Dip-slope* إلى الانحدار التدريجى للطبقات والذى يوازى اتجاه ميل الطبقات نفسها . وانحدار ميل الطبقات بالاضافة إلى انحدار الحافة الشديد عكس ميل الطبقات يكونان كليهما معا ظاهرة الكوستا . أو بمعنى آخر تعتبر الحافة جزءا من ظاهرة الكوستا . وأول من استخدم تعبير «الكوستا» فى الدراسة الجيومورفولوجية هو الباحث هيل *Hill* فى عام ١٨٩٦ . وهو تعبير أسبانى فى الأصل ومعناه جبل مختلف الانحدار . أما وليم موريس دافيز *W. M. Davis* فيعتبر أول جيومورفولوجى أعطى لهذه الظاهرة تعريفا دقيقا وذلك فى كتاباته منذ عام ١٩٠٠ ، ولا يزال تعريف دافيز لظاهرة الكوستا هو المستخدم حاليا فى الدراسة الجيومورفولوجية .

وقد درس لوبيك *Lobeck 1929* ، هذه الظاهرة فى كتابه المعروف مبادئ الجيومورفولوجيا وقد أوضح أن هذا التعبير يشير إلى كل من انحدار الحافة الشديدة بالاضافة إلى انحدار ميل الطبقات وتحدث هذه الظاهرة فى الطبقات الصخرية المائلة والتى تتألف من صخور مختلفة الصلابة متراكبة فوق

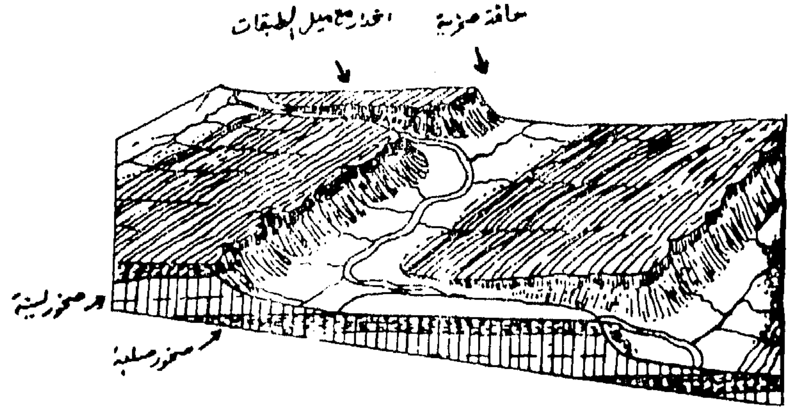
بعضها البعض . أما الأستاذ كوتون *Cotton 1941, 1952* . فقد فرق بين ظاهرة الكوستا وظاهرة الحافات الرأسية الشديدة الانحدار *Homoclinal Ridges* أو تعبير *Hogback* . وقد أوضح أن أهم ما يميز ظاهرة الكوستا هو انحدار سطح الطبقات التدريجي البسيط ، وأن الامتداد الطولى لهذا الانحدار أطول بكثير من انحدار الحافة الشديد والقصير . فبينما يبلغ امتداد سطح انحدار ميل الطبقات نحو عدة أميال (من ٤ إلى ٥٠ ميل) ، فإن ارتفاع حافة الكوستا قد لايزيد عن بضع مئات من الأقدام وغالبا أقل من ١٠٠ قدما . أما الحافات الرأسية *Homoclinal Ridges* فإن أهم ما يميزها عن الكوستا إن انحدار سطح ميل الطبقات يكون شديداً جداً وقصيراً وقد يماثل تماما انحدار الحافة (شكل ٢٧ وشكل ٢٨) وعلى ذلك فإن الحافات قد تكون جزءا من الكوستا وفى بعض الحالات قد لا تعد جزءا منها كذلك ، فهى لا تعتبر جزءا من الكوستا فى حالة عدم تكوين انحدار تدريجى بسيط لميل الطبقات فى مظهرها أو انحدار السطح خلف الحافة يكون فى اتجاه عكس ميل الطبقات *Anti-dip slope* .

وتظهر أمثلة لهذه الحالة بشكل واضح فى بعض أجزاء من أودية أنهار الدن والريفلين بمقاطعة يوركشير على السفوح الجنوبية الشرقية لجبال البنين البريطانية (لوحة ٧) وكذلك فى الحافات الصخرية على الجانب الغربى لأعالى وادى الصفا بإقليم المغارة فى شمال شبه جزيرة سيناء .

ومن الدراسة التفصيلية لمورفولوجية الكوستات يمكن أن نحدد مفهوم بعض المصطلحات الأخرى الآتية (شكل ٢٩) :

أ - قمة الكوستا *The cuesta crest* :

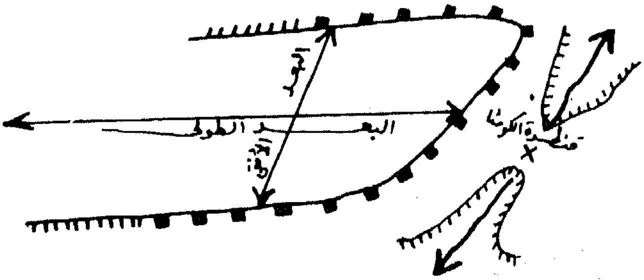
ويقصد بها أعلى موضع من الأرض التى تشغلها ظاهرة الكوستا والتى غالبا ما تمثل منطقة صغيرة المساحة جداً (بضع عشرات من الأمتار المربعة) مستوية السطح وتنحدر عندها الأرض فى اتجاهين متضاديين أحدهما مع ميل الطبقات (انحدار ظهر الكوستا) والآخر مضاد لاتجاه ميل الطبقات (انحدار حافة الكوستا) .



(شكل ٢٨) الشكل العام للكوستا



(لوحة ٧) ظاهرة الكوستا فى ورادى نهر الدن - جنوب غرب يوركشير بانجلترا
(تصوير الباحث)



(شكل ٢٩) مورفولوجية الكوستا وأبعادها

ب - جناحا أو جانبا الكوستا *The cuestas flanks*:

لكل كوستا جانبان ، قد يكون ارتفاعهما بالنسبة للأرض المجاورة هائلا أو محدوداً وذلك تبعا لمدى فعل النحت الرأسى للمجارى النهرية التى تحفر ظاهرة الكوستا وتبرزها على سطح الأرض . وعلى ذلك يتخذ جناحا الكوستا أشكال مختلفة تبعا لمدى تقطع الكوستا نفسها بفعل المجارى النهرية والخصائص الجيومورفولوجية العامة لهذه المجارى .

ويطلق على المسافة العرضية بين جناحى الكوستا تعبير البعد العرضى للكوستا *Transverse extent* فى حين يطلق على المسافة الطولية الممتدة بين قمة الكوستا وأدنى منطقة يتلاشى عندها ظهر الكوستاتعبير البعد الطولى للكوستا *Longitudinal extent* .

جـ - أنف الكوستا *The cuesta's nose* :

ويقصد بذلك شكل منطقة قمة الكوستا وما يجاورها ،. ويرتبط شكل أنف الكوستا بمدى تقارب أو تباعد أعالى المجارى النهرية العرضية (أنهار مضرب الطبقات) والتى تحفر الحافة الصخرية للكوستا وتعمقها . وعلى ذلك قد يكون شكل أنف الكوستا اما على شكل زاوية حادة أو على شكل زاوية منفرجة أو قد يكون مستديرا (أنظر شكل ٣١) ونادرا ما يكون مربعا .

د - **قنطرة الكوستا** *The cuesta's bridge* :

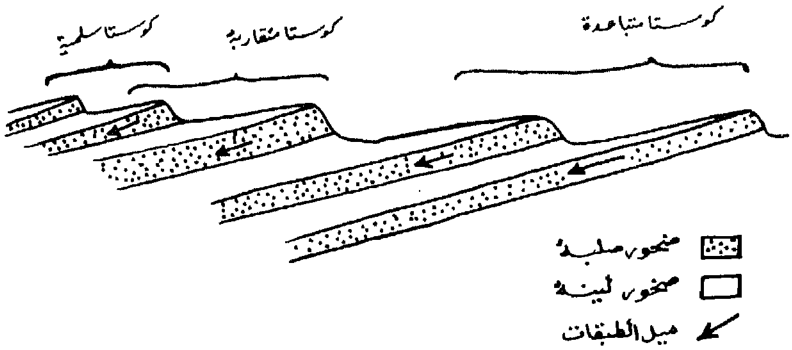
ويرمز هذا التعبير على المنطقة الصغيرة المحدودة المساحة المستوية السطح والتى تمثل منطقة أعالى الأنهار العرضية التى تقطع الحافة الصخرية للكوستا . وعلى ذلك فإن منسوب هذه المنطقة يعد قريبا نسبيا من منسوب أقدام الحافة الصخرية للكوستا حيث أن الأراضى الأخرى المجاورة تكون أقل منسوبا تبعا لحفرها بفعل هذه المجارى النهرية العرضية . وتبدو هذه الأراضى على شكل قنطرة أو كوبرى بين مقدمة الكوستا والأراضى الأخرى المجاورة لها .

تصنيف الكوستات :

يمكن تقسيم الكوستات على أساس العوامل المختلفة التى تؤثر فى شكل ظاهرة الكوستا الواحدة أو تلك العوامل التى تؤثر فى الأشكال المختلفة التى تظهر بها مجموعة أو مجموعات من ظواهر الكوستات . وعلى ذلك يمكن أن يكون أساس هذا التقسيم هو حجم الكوستا أو اختلاف موقعها الجغرافى ، أو تنوع مظهرها الجيومورفولوجى ، أو العلاقة بين الشكل العام للكوستات وبين التصريف النهرى . ومن بين أقدم محاولات تصنيف الكوستات إلى مجموعات مختلفة تلك التى اقترحها وليم موريس دافيز عام ١٩١٥ . وقد اعتمد دافيز فى تقسيمه لمجموعات الكوستات على اختلاف حجم الكوستا الواحدة وعلى أساس شكل مجموعات معينة من الكوستات وتنوع مظهرها الجيومورفولوجى من مجموعة إلى أخرى . وعلى ذلك قسم دافيز الكوستات إلى المجموعات أو النظم الآتية :

(أ) **كوستات سلمية متراكبة** *Cuestas of overlapping order* :

وتتميز هذه المجموعة من الكوستات بأن انحدار ميل الطبقات كثيرا ما يبدو قصيرا ، وأنها تكاد تحدث تقريبا فوق بعضها البعض على شكل ما يشبه مدرجات أو مصاطب سلمية (شكل ٣٠) .



(شكل ٣٠) تقسيم الكوستات حسب آراء وليم موريس دافيز

(ب) كوستات علي مسافات متوسطة *Close - set order* :

وترمز هذه المجموعات إلى الكوستات التى تبعد كل واحدة منها عن الأخرى بمسافات متوسطة الامتداد ويقطعها أنهار تجرى مع مضرب الطبقات أو خط الظهور *Strike-type streams* .

(جـ) كوستات علي مسافات متباعدة *Wide-spaced order* :

وترمز هذه المجموعة إلى الكوستات التى تبعد كل واحدة منها عن الأخرى بمسافات بعيدة تبعا لخصائص التكوين الجيولوجى للمنطقة وزيادة سمك الطبقات اللينة .

أما دريو *Derruau* عام ١٩٥٦ ، فقد قسم ظاهرة الكوستا الواحدة على أساس العوامل الجيولوجية والمناخية المختلفة التى تؤثر فى المظهر العام للكوستا واختلاف أشكالها وتشمل هذه العوامل ما يلى :

(أ) درجة سمك كل من الطبقات الصلبة واللينة التى تتألف منها الكوستات واختلاف هذا السمك من طبقة لأخرى .

(ب) درجة ميل الطبقات .

(جـ) درجة تفاعل صخور الكوستا بعوامل التعرية المختلفة ومدى سرعة

التراجع الخلفى للكوستا .

(د) شكل امتداد الأنهار المحيطة بالكوستا ، واختلاف مقدار نحتها الرأسى والجانبى .

(هـ) طرائق نشأة الكوستا وموضعها المحلى سواء أكان ذلك فى المناطق الصحراوية الحارة الجافة أو فى المناطق المعتدلة الباردة .

ومن بين أحدث التصنيفات فى هذا الموضوع ذلك الذى رجحه زميلى الأستاذ جون دور نكامب *Doornkamp* (فى عام ١٩٦٢) (١) وقد بنى تقسيمه على أساس :

(أ) اختلاف حجم الكوستات .

(ب) اختلاف شكل الكوستات .

ونتيجة للجمع بين نتائج اختلاف حجم الكوستا الواحدة واختلاف أشكالها ميز جون دور نكامب المجموعتين التاليتين :

المجموعة الأولي : الكوستات الكبري *Major-Cuestas* :

(أ) ذات أنف شديد التحدب *Angular - nosed*

(ب) ذات أنف أقل تحدبا *Blunt - nosed* أو ذات أنف منفرجة الشكل .

(جـ) ذات أنف مستدير الشكل *Rounded - nosed*

المجموعة الثانية : الكوستات الصغري *Minor-Cuestas* :

(أ) ذات أنف شديد التحدب (شكل ٣١)

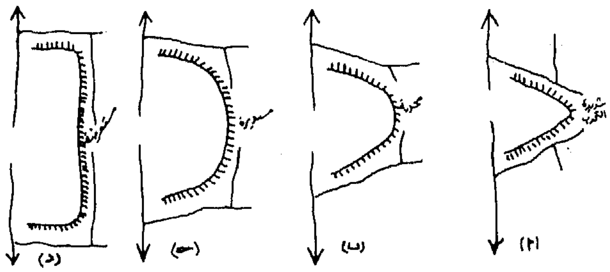
(ب) ذات أنف أقل تحدبا .

(جـ) ذات أنف مستدير الشكل .

وحيث إن أهم ما يميز ظاهرة الكوستا هو شكل انحدار حافتها وميل سطح الطبقات فقد وجد الباحث أنه من الأفضل عند دراسة ظاهرة الكوستا الواحدة حسب اختلاف انحدار كل من سطح حافة الكوستا وسطح ميل الطبقات هذا إلى

---

(1) Doornkamp, J., Ibid M Sc Thesis, Sheffield Univ (1962).



(شكل ٣١) تقسيم الكوستات بحسب اختلاف شكل أنف الكوستا ومقدمتها

جانب أهمية إدراك تنوع الحجم التقريبي للكوستات .

وقد ميز الباحث (١) ثلاث مجموعات رئيسة من الكوستات هي :

(أ) كوستات كبيرة الحجم *Major Cuestas*

(ب) كوستات متوسطة الحجم *Intermediate Cuestas*

(جـ) كوستات صغيرة الحجم *Minor Cuestas*

وكل مجموعة من هذه المجموعات الثلاث الرئيسة قد تنقسم بدورها حسب شدة انحدار الحافة إلى :

(أ) حافة انحدار شديد جدا من ٢٠° إلى ٤٠° .

(ب) حافة انحدارها متوسط من ١٠° إلى ٢٠° .

(جـ) حافة انحدارها بسيط أقل من ١٠° .

وقد تبدو حافة الكوستا في بعض الأحيان على شكل حافة صخرية مستعرضة الشكل تبعا لاتجاه الأنهار التي تقطعها .

وأثناء الدراسة الحقلية لظاهرة الكوستا في إقليم المغارة بشبه جزيرة سيناء (شكل ٣٢ وشكل ٣٣) تبين أن ظاهرة الكوستا تكون عادة واضحة المعالم ليس فقط نتيجة لحجمها الكبير بل لانحدار الحافة الشديد الذي يعطي لها الفرصة

---

(1) Abou El-Enin, H. "The geomorphology of the Moss Valley .. Derbyshire" M. A. Thesis, Sheffield Univ. (1962).

(2) Abou El-Enin, H. "Surface froms in the Upper Don Basin ... Yorkshire" Ph. D Thesis. Sheffield Univ (1964).



(شكل ٣٢) تصنيف مجموعات الكوستات فى منطقة المغارة بشمال
شبه جزيرة سيناء بحسب اختلاف حجم الكوستا



(شكل ٣٣) تصنيف الكوستا فى منطقة المغارة بشمال شبه جزيرة سيناء بحسب الطبقات الصخرية الصلبة التى أدت إلى تكوين حافاتها . ويلاحظ من دراسة هذا الشكل أن أكبر الكوستات حجما تتكون فى طبقات صخور الحجر الجيرى الطباشيرى والصخور الجيرية المرتفعة السمك ، وأقل الكوستات حجما تتألف فى صخور الحجر الجيرى الرملى والاوليتى وتظهر عادة على ظهر الكوستات الكبيرة الحجم .

فى ظهورها بشكل واضح على السطح وأن تتميز بسهولة عن بقية الظاهرات الجيومورفولوجية الأخرى المجاورة لها . وقد يرجع سبب اختلاف انحدار حافة الكوستا إلى الآتى :

(أ) اختلاف سمك الطبقات الصلبة المكونة للحافة.

(ب) كيفية تماسك هذه الطبقات وتكوينها الصخرى .

(جـ) درجة ميل الطبقات .

(د) مدى تأثر الكوستا بالتقطع النهرى وفعل النحت الرأسى والجانبى للأنهار التى تحيط بها .

(هـ) اختلاف نشأة الكوستا وأصلها . فإذا كانت مثلا كوستا صغيرة تكونت تبعا لتجزأة كوستا كبيرة الحجم بواسطة تقطعها بروافد نهرية ، فقد تتميز هذه الكوستا الصغيرة فى هذه الحالة بشدة انحدار الحافة . أما إذا كانت كوستا صغيرة الحجم ، تكونت بسبب فعل عوامل التعرية فيها على مرور أزمنة جيولوجية طويلة ، فيتميز انحدار حافتها بقلة ارتفاعه .

(و) مرحلة نمو الكوستا .

أهمية دراسة الكوستات في الاستدلال على نظام بنية الطبقات

تعد ظاهرة الكوستا هى الظاهرة الجيومورفولوجية الوحيدة التى يمكن أن يستدل بها الجيومورفولوجى على نظام بينة الطبقات فى مناطق تكوينها . ويرجع ذلك إلى أن ظهر الكوستات البسيط الانحدار يشير إلى الاتجاه العام لميل الطبقات *dip* فى المنطقة ، كما أن ظاهرة الكوستات لا تتكون إلا فى مناطق تتألف صخورها من تكوينات غير متجانسة فى صخور رسوبية (أو متحولة عن أصل رسوبي) أى من طبقات صخرية صلبة متعاقبة فوق طبقات أخرى لينة ولابد أن تكون درجة ميل الطبقات محدودة جدا ونادرا ما تتعدى ١٠° وبزيادة ميل الطبقات عن هذا الحد ، قد يؤدى ذلك إلى تكوين ظاهرة الحافات الشديدة الميل أو الحافات الصخرية الرأسية *Hogbacks* ، كما لا

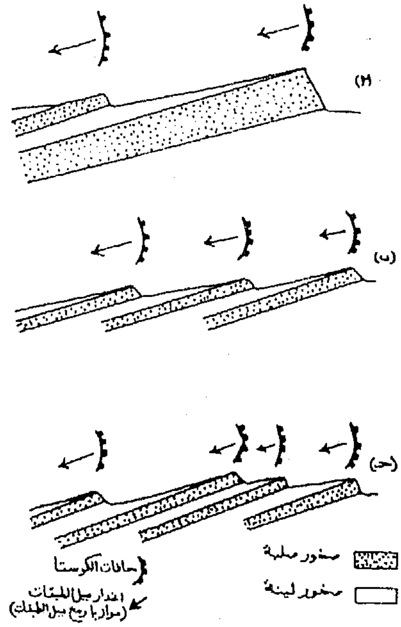
تتكون الكوستات فى مناطق الطبقات الصخرية الأفقية ، وذلك لأن هذه الطبقات الأخيرة قد ينجم عنها تكوين ظاهرات منها الهضاب والموائد الصخرية *Mesa* والشواهد الصخرية . ومن ثم يمكن القول :

«ان مناطق الكوستات ان دلت علي شئ فإنما تدل علي أن الطبقات الصخرية في المنطقة الممثلة فيها تتألف من طبقات صخرية صلبة متعاقبة فوق طبقات صخرية لينة وكلها ذات ميل تدريجي بسيط ، أي تأثرت المنطقة التي تتمثل فيها هذه الظاهرات بحركة رفع بسيطة» .

ومن دراسة مورفولوجية الكوستات على سطح الأرض يمكن للجيومورفولوجى أن يستدل على نظام بنية الطبقات فى منطقة الكوستات دون الضرورة إلى فحص القطاعات الصخرية فى الحقل ، فمن شكل (٣٤ أ) يتضح أن الطبقات الصلبة هى التى تكون حافات الكوستا *Cuesta's scarp* . ويشتد ارتفاع حافة الكوستا كلما كان سمك الطبقات الصلبة المكونة لها كبيرا والعكس صحيح . أو بمعنى آخر أن الطبقات الصلبة المحدودة السمك تؤدى إلى تكوين حافات للكوستات محدودة الارتفاع . وفى شكل (٣٤ ب) يتبين أنه إذا كان سمك الطبقات اللينة التى تفصل بين الطبقات الصلبة فى مناطق الكوستات شبه متساوى ، فإن انحدار ظهر الكوستات يكاد يكون متساويا ، وتقع الكوستات فى المنطقة على أبعاد أو مسافات شبه متساوية كذلك .

أما إذا كان سمك الطبقات اللينة فى مناطق الكوستات غير متساوى ، فإن الكوستات فى هذه الحالة تقترب من بعضها البعض وخاصة عندما يكون سمك الطبقات اللينة محدودا ، ويبعد بعضها عن البعض الآخر بمسافات كبيرة عندما يكون سمك الطبقات اللينة كبيرا (شكل ٣٤ جـ) .

ووجود الكوستات فى منطقة ما إن دل على شئ فإنما يدل على أن هذه المنطقة تأثرت بحركة رفع بسيطة ، وأن ميل الطبقات فى اتجاه عام يتفق مع الاتجاه العام لانحدار ظهر الكوستات .

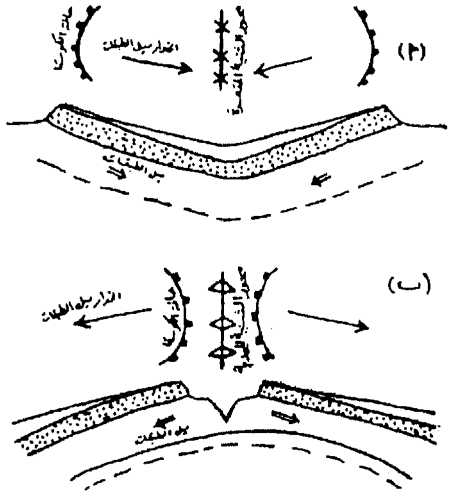


(شكل ٣٤) العلاقة بين مورفولوجية الكوستات واختلاف سمك الطبقات

وفى شكل (٣٥ أ) يتضح أن حافة الكوستات فى هذه الحالة تكونت فى اتجاهين متضادين . ومن دراسة ميل الطبقات الصخرية فى هذه الحالة يتضح أن المنطقة عبارة عن ثنية صخرية مقعرة *Syncline* وان اتجاه ميل الطبقات يشير إلى محور الثنية المقعرة *Synclinal axis* ويتلاقى ميل طبقات الكوستات عند هذا المحور .

أما فى شكل (٣٥ ب) فإن حافة الكوستات هنا ، تتكون فى اتجاهين متقابلين ، ومن دراسة ميل الطبقات الصخرية فى هذه الحالة يتضح أن المنطقة عبارة عن ثنية صخرة محدبة *Anticline* وأن اتجاه ميل طبقات الكوستات يكون فى اتجاهين متضادين ويتباعد اتجاه الميل من عند محور الثنية المحدبة *Anticlinal axis* .

وفى حالة تأثر الكوستا بالصدوع كما فى شكل (٣٦) ، فإن حافة الكوستا تكون متقطعة وتتباعد أجزاء الحافة بعضها عن البعض الآخر بمقدار الزحزحة



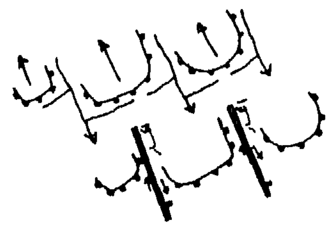
(شكل ٣٥) تشكيل الكوستات فى الثنيات الصخرية المحدبة والثنيات الصخرية المقعرة

الجانبية للصدوع التى أثرت فى حافة الكوستات .

ومن أظهر المناطق التى تتمثل فيها ظاهرة الكوستا فى جمهورية مصر العربية منطقة إقليم المغارة فى شمال شبه جزيرة سيناء ، وتتألف صخور هذا الإقليم من طبقات صخرية جيرية جوراسية تتبع الطبقات السفلى منها فترة (الباجوسيان *Bajocian*) أما العليا فتتبع فترة (الكالوفيان *Callovian*) وتتركب الطبقات من صخور جيرية صلبة أدت إلى تكوين حافات شديدة الانحدار ومن ثم يطلق عليها تعبير *Marker Beds* ، وهذه تشمل الصخور الجيرية الفلنتية *Flinty Limestone* وتعلوها الصخور الجيرية الطباشيرية *Chalky Limestone* ، ويفصل بين الطبقات الجيرية الصلبة السابقة طبقات أخرى رخوة لينة تتركب أساسا من الصلصال والطين *Shales* . وقد تأثرت صخور المنطقة بحركات الرفع التكتونية التى شكلتها على شكل قبة أو ثنية محدبة تعرف باسم قبة المغارة *Maghara Dome* [١] .

ويتمثل محور هذه القبة فى أعلى سهول المنطقة ارتفاعا فى إقليم شوشة

(1) Abou El-Enin, 1966, 1971.



(شكل ٣٦) تشكيل الكوستات فى المناطق الصدعية

المغارة (٧٢٠ م فوق مستوى سطح البحر) وتنحدر الطبقات إلى الشمال الغربى وإلى الجنوب الشرقى من هذا الإقليم مكونة جانبى القبة . وعلى ذلك تميزت الطبقات الصخرية فى إقليم المغارة بأنها مركبة من صخور متعاقبة فوق صخور لينة ولكها تميل تدريجيا (٧° إلى ١٣° تقريبا) نحو الشمال الغربى . وتبعا لتآكل الصخور اللينة بفعل عوامل التعرية المختلفة بدرجة أسرع منها فى الصخور الصلبة ظهرت الأخيرة على شكل حافات صخرية تمثل جزءا من ظاهرات الكوستات المنتشرة فى هذا الإقليم . ويمكن تقسيم الكوستات فى إقليم المغارة إلى ثلاث مجموعات تبعا لاختلاف أحجامها (كبيرة ومتوسط وصغيرة الحجم) .

ومن بين أهم الكوستا الهائلة الحجم تلك التى تتكون فى الصخور الجيرية الطباشيرية مثل كوستا جبل الدبيل إلى الشمال من منجم فحم الصفا وكوستا المراحيل إلى الغرب من الموقع السابق . (شكل ٣٢ ، وشكل ٣٣) فى حين تتمثل الكوستات الصغيرة الحجم فوق ظهر الكوستات الكبيرة الحجم ، وذلك تبعا لتعرض الأخيرة لفعل تعميق الأودية الجافة التى تحفر مجريها فى الصخور اللينة ، وتؤدى بذلك إلى ظهور حافات الكوستات الصغيرة الحجم ، ومن بين أظهر أمثلة هذه المجموعة من الكوستات تلك التى تتمثل فى أحواض المراحيل والصفا والدبيل .

وتتمثل ظاهرة الكوستات فى مرتفعات لبنان الغربية تبعا لتكوين تلك

المرتفعات من صخور صلبة متعاقبة فوق صخور لينة ومتأثرة بحركات رفع تكتونية بسيطة نجم عنها ميل الطبقات الجيرية ميلا تدريجيا بسيطا . وقد تبين بأن معظم الكوستات فى لبنان تشكلت بظواهر شبه جليدية حيث أن حافاتها مشققة بفعل تتابع التجمد والانصهار وكثيرا ما يشاهد تحت أقدامها رواسب زحف الصخور والتربة بل ورواسب التربة المشحونة بالمياه كما هو الحال فى كوستات منطقة جزين (لوحة ٩) وذلك بخلاف كوستات شبه جزيرة سيناء التى تشكلت بظواهر جيومورفولوجية صحراوية ، وبشدة تقطعها بالأودية الجافة .

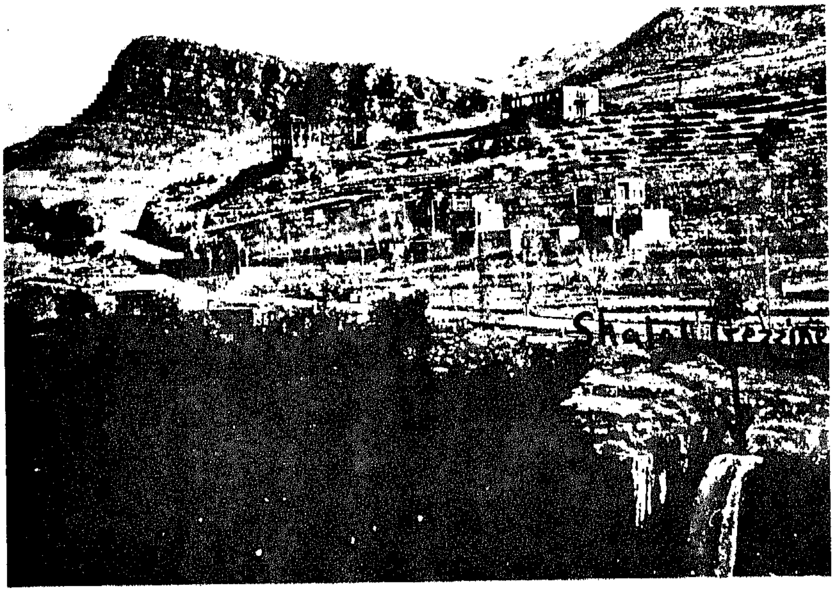
ومن بين أظهر أمثلة مناطق الكوستات فى لبنان ما يلى :

(أ) منطقة جبل عامل :

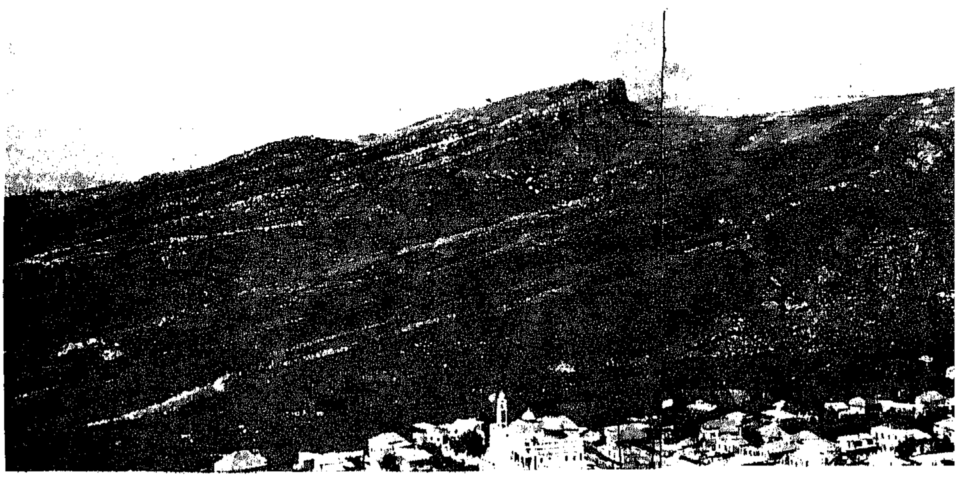
حيث تأثرت التكوينات الصخرية الجيرية فى هذه المنطقة من جنوب لبنان بحركات تكتونية بسيطة ، وعملت المجارى النهرية على شق أودية عميقة لها فى الصخور اللينة وظهرت الحافات الصخرية على جوانب هذه الأودية ، فى حين ينحدر السطح انحدارا تدريجيا بسيطا نحو الشمال الغربى مع الاتجاه العام لميل الطبقات .

(ب) منطقة كفر حون (أعالي حوض الزهراني وجنوب منطقة جزين) :

وتتألف صخور هذه المنطقة من تكوينات جيرية كريتاسية غير متجانسة ومختلفة الصلابة ، وتأثرت بدورها بثنيات مقعرة وأخرى محدبة عملت على تشكيل بنية المنطقة وميل الطبقات ميلا تدريجيا فى اتجاهات متفرقة . ومن بين أهم هذه الثنيات الصخرية ثنية جزين المقعرة والتى شق أعالى نهر الزهرانى مجراه على طول محور هذه الثنية فى حين تتمثل الكوستات على جانبها وتظهر الكوستات كذلك فى منطقة عرب صاليم (جنوب جرجوع) وفى منطقة بلدة جبا (جنوب حيتول) ، وفى منطقة شلال جزين (لوحة ٨) .



(لوحة٨) كوستا عند شلال جزين ـ لبنان (تصوير الباحث)



(لوحة ٩) كوستا حاردين (شمال كفر حلدا) على الجانب الشمالي لنهر الجوز ـ لبنان
(تصوير الباحث)

(جـ) حوض نهر أسطوانة :

يمتد حوض هذا النهر إلى الجنوب من حوض النهر الكبير الجنوبي على الحدود السورية ـ اللبنانية ، ويتألف الجانب الشمالي لحوض هذا النهر من مصهورات لافية بلايوستوسينية في حين يتركب الجانب الجنوبي من حوضه من صخور جيرية كريتاسية ونيوموليتية . وقد تعرضت هذه الصخور الأخيرة لحركات رفع تكتونية خفيفة أدت إلى انبعاج الطبقات الصخرية الجيرية على شكل ثنيات محدبة وأخرى مقعرة تمتد محاورها موازية لبعضها البعض من الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي . وعلى ذلك فهناك اختلاف واضح بين المظهر التضاريسي العام لكل من الجانبين الشمالي والجنوبي لحوض نهر اسطوانة . فبينما يتشكل الجانب الشمالي للحوض من هضيبات مستوية السطح ذات جوانب حائطية الشكل حفرت بفعل التعرية النهرية الرأسية في صخور اللافا البركانية ، يضم الجانب الجنوبي لحوض نهر أسطوانة الكثير من ظواهر الحافات الصخرية والكوستات (١) .

إلا أن أكبر الكوستات حجما في الأراضي اللبنانية هي تلك التي تتكون في القسم الأوسط من حوض نهر الجوز ، بالقرب من قرى كفر حلدا ، ودوما ، وبيت شلالا وتتألف الكوستات هنا في صخور الحجر الجيري السينموني وتميل الطبقات ميلا تدريجيا بسيطا نحو الشمال الغربي ، أي على الجانب الغربي لمحور الثنية المحدبة المعروفة هنا باسم ثنية جبل جاج المحدبة . ومن أظهر الكوستات هنا تلك المعروفة باسم كوستا حاردين (شمال كفر حلدا) وكوستا بيت

---

(١) للدراسة التفصيلية راجع :

- حسن أبو العينين «دراسات في جغرافية لبنان» بيروت ١٩٦٨ ، الطبعة الخامسة بيروت ١٩٧٧ .

- حسن أبو العينين «لبنان ، دراسة في الجغرافيا الطبيعية» بيروت ١٩٨١ .

Abou El-Enin, H., "Essays on the geomorphology of the Lebanon" Beirut Arab Univ. (1973) pp. 314

شلالا على الجانب الجنوبى لحوض نهر الجوز (لوحة ٩ ولوحة ١٠) وتشكلت حافات الكوستات هنا بظواهر شبه جليدية *periglaciated features* .

يتضح من هذا العرض أنه على الرغم من أن نمو ظاهرة الكوستا ومراحل تكوينها تتوقف أساسا على اختلاف تكوين الطبقات الصخرية ونظام بنيتها إلا أن تكوين حافة الكوستا لابد أن ينشأ أولا بواسطة عوامل التعرية المختلفة مثل النحت الرأسى للأنهار أو التعرية البحرية . هذا وأن نمو الكوستا يتصل كذلك بمراحل نمو روافد الأنهار المختلفة التى تحيط بها وتتكون فوقها (شكل ٣٧) . وقد لاحظ ذلك الأستاذ دافيز عام ١٩١٥ وقسم الأنهار التى تحيط بالكوستا حسب العلاقة بين اتجاه ميل الطبقات وامتداد المجارى النهرية إلى ما يلى :

(أ) أنهار تمتد مجاريها مع انحدار ميل الطبقات *Dip-type streams* وأطلق عليها اسم الأنهار الأصلية *Consequent streams* .

(ب) أنهار تمتد مجاريها عكس انحدار ميل الطبقات *Anti-dip-type streams* وأطلق عليها دافيز اسم الأنهار العكسية *Obsquent streams* .

(جـ) أنهار تمتد مجاريها مع مضرب الطبقات (خط الظهور) أو على نقط الضعف الجيولوجية *Strike-type streams* وأطلق عليها دافيز اسم الأنهار التالية *Subsequent streams* .

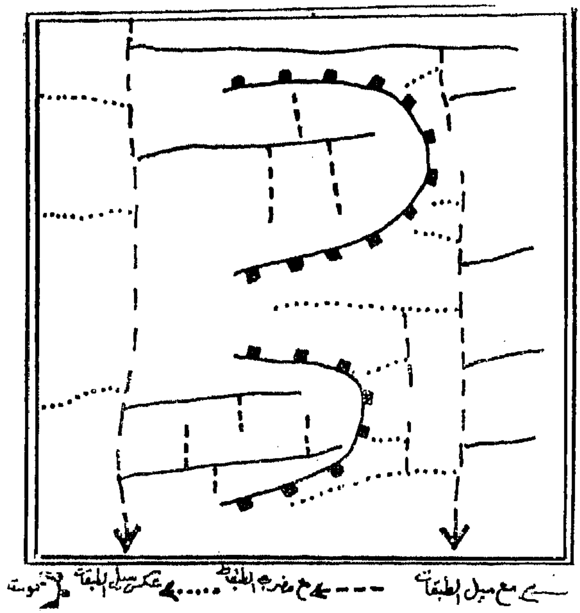
وتعمل هذه الأنهار بدورها على تآكل جوانب الكوستا نتيجة للنحت الرأسى والجانبى وبالتالى تتراجع حافة الكوستا فى اتجاه ميل الطبقات وينخفض ارتفاعها تدريجيا بمرور الزمن ثم تبدو على هيئة تلال شبه دائرية الشكل عندما يكون مظرها فى حالة الشيخوخة ويطلق عليها كوستا قديمة العمر ، ناضجة المظهر *Subdued cuesta* .

ظاهرة الحافات الرأسية *Homoclinal Ridges* :

تختلف هذه الظاهرة التركيبية النشأة عن ظاهرة الكوستا فى أن ميل الطبقات فيها يكون شديداً (أكثر من ١٥ ْ) . وتكون الحافة فيها *Scarp* شبه



(لوحة ١٠) المظهر المورفولوجي التفصيلي للكوستات في منطقة حاردين - حوض نهر الجوز - لبنان (تصوير الباحث)



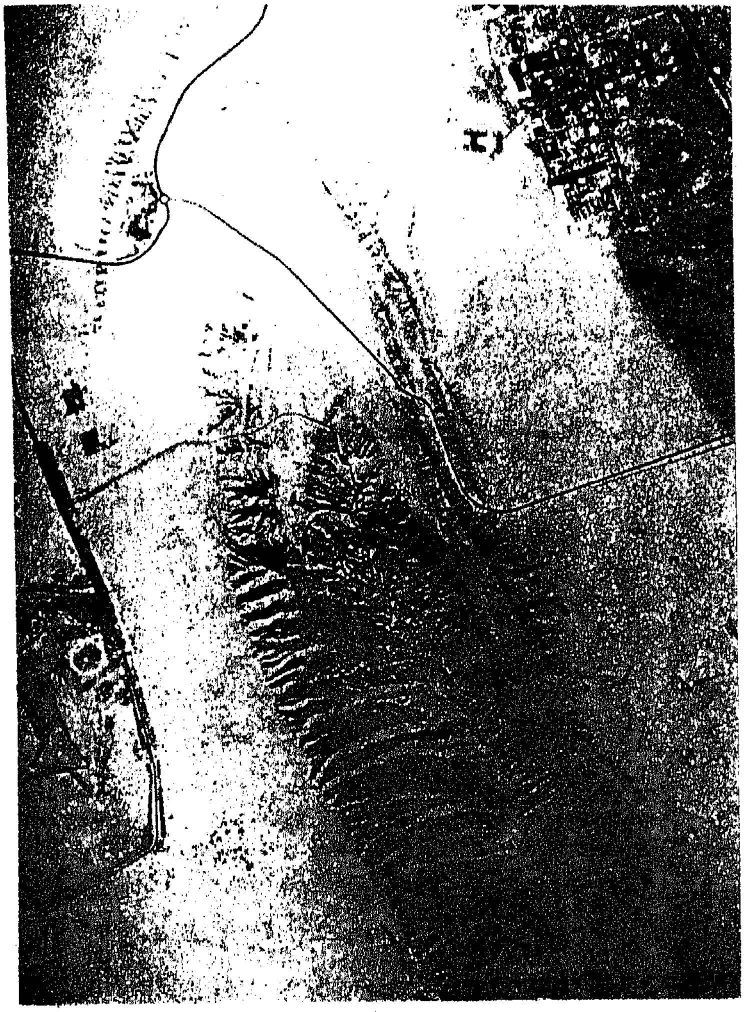
(شكل ٣٧) العلاقة بين الكوستات والتصريف النهري

رأسية . ومن بين أظهر أمثلة الحافات الرأسية تلك التى تتمثل فى جبل حفيت جنوب مدينة العين ـ فى دولة الإمارات العربية المتحدة ـ والتى اشار اليها بعض الباحثين خطأً على أنها ظاهرة «كوستا» *(Hamdan, 1993)* .

ويعد جبل حفيت من ناحية البنية الجيولوجية نموذجا فريدا من نماذج الطيات الالتوائية المحدبة المندفعة *Overthrust periclinal fold* ، حيث يندفع أنف هذا الإلتواء المحدب فى منطقة الصناعية شمالا فى حين تندفع أطرافه الجنوبية فى أراضى سلطنة عمان جنوباً . وقد تعرضت منطقة الأنف الشمالى لهذا الإلتواء المحدب لفعل التجوية والتعرية الشديدين ، ومن ثم تآكلت الصخور هنا بشدة خاصة عند الحافات الصخرية التى تظهر إلى الشرق من منطقة حديقة الحيوان بمدينة العين وتراجع محور الإلتواء نحو الخلف بسرعة وأصبحت منطقة الصناعية (أنف الإلتواء) وكأنها أراضى مستوية السطح . كما أسهم النحت المائى (الناتج عن حدوث بعض السيول الجارفة) على تقطيع جوانب جبل حفيت وخاصة فى القسم الأوسط منه إلى الجنوب



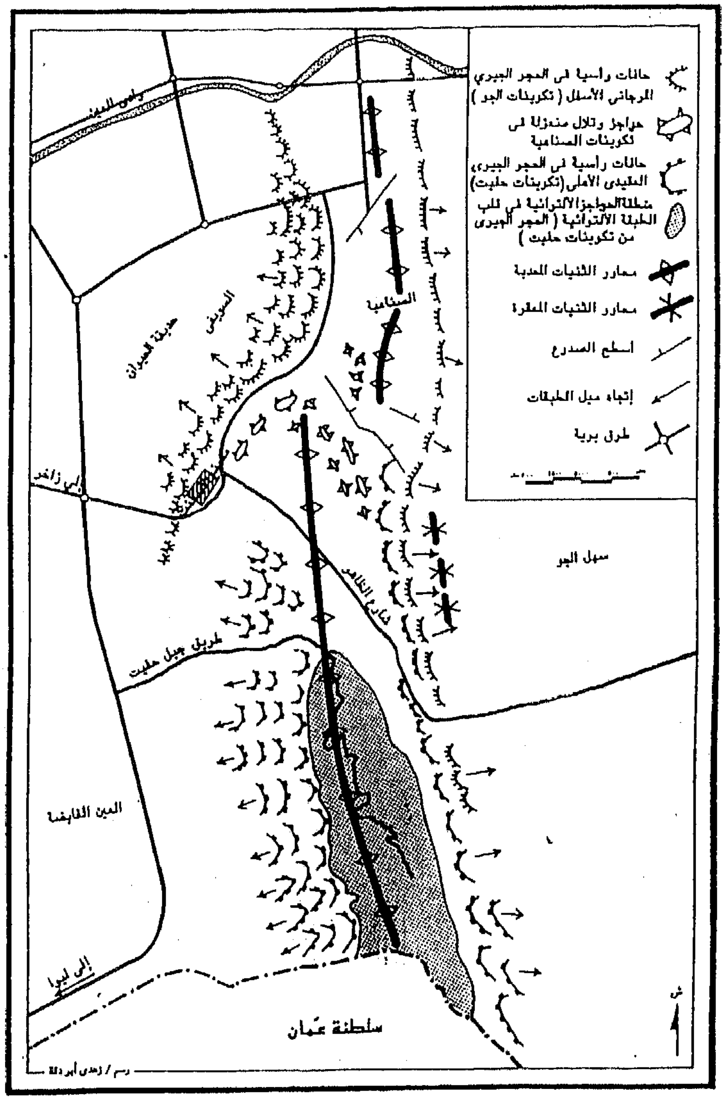
(شكل ٣٨) خريطة جيومورفولوجية لجبل حفيت



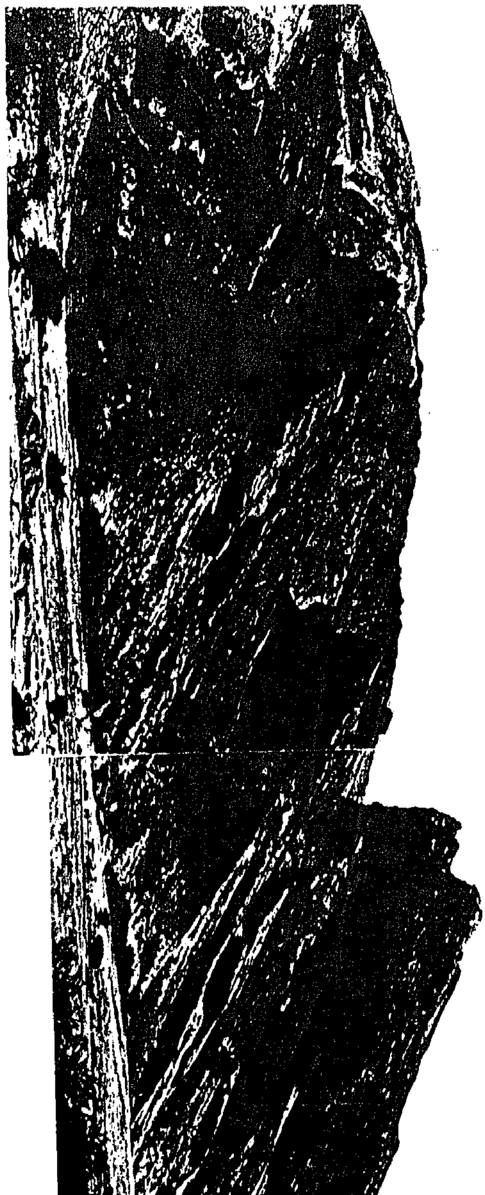
(لوحة ١١) صورة جوية لجبل حفيت مقياس ١ : ٦٠,٠٠٠ لاحظ :

- شدة تأثر التكوينات الصخرية لجبل حفيت بالأودية الجبلية الخانقية المتعمقة فى مناطق الضعف الجيولوجى (على طول محور الطية المحدبة وعند مضرب الطبقات) :

- ازالة التكوينات الصخرية الضعيفة جيولوجيا عند أنف الطية شرق مصنع أسمنت مدينة العين .



(شكل ٣٩) تصنيف الحافات الرأسية فى جبل حفيت حسب نوع الصخور



(لوحة ١٢) الحافات الرأسية فى تكوينات الحجر الجيرى الأعلى العقيدى (من تكوينات جبل حفيت) إلى الشرق من حدائق العين الفايضة على الجانب الغربى لطية جبل حفيت . وتكتسب الحافات الرأسية هنا نفس خصائص الحافات الرأسية على الجانب الشرقى من الطية فى صخور الحجر الجيرى الأعلى العقيدى ، إلا أن ميل الطبقات هنا يتجه بشدة صوب الغرب .

الشرقى من مصنع الأسمنت . أما جانبا الطية المحدبة لجبل حفيت ، فقد تعرضتا للثنى الشديد وبرزت التكوينات الصخرية فيهما على شكل حافات رأسية مندفعة ويتراوح ميل طبقات صخورها من ٢٠° إلى ٣٥° (شكل ٣٨ ولوحة ١١) .

وإذا كان جبل حفيت الإلتوائى المحدب يعد من أهم المظاهر الجيولوجية التى تميز المنطقة الحدية لمقدمات مرتفعات عمان ، وان تكويناته الجيولوجية تمثل كذلك عموداً جيولوجياً نموذجياً ومتكاملاً للتكوينات الأيوسينية فى العالم ، فإن نظام بناء هذه الطية الإلتوائية الطولية المندفعة لجبل حفيت وشدة ميل الطبقات على جانبيها أثرا فى تكوين عدة ظاهرات تركيبية النشأة ومثالية المظهر ونذكر بخاصة الحافات الرأسية الشديدة الميل بكل أشكالها المختلفة *Homoclinal Ridges* . وترجع أغلب حركات الرفع التكتونية لهذه الطية إلى عصرى الأيوسين والميوسين ، فى حين تشكلت الظاهرات التركيبية النشأة بفعل التجوية والتعرية المائية (السيول وأعالى الأودية الجبلية *Torrential Flows and Gully Erosion*) منذ بداية نشوء الطية حتى اليوم .

ويمتد العمر الجيولوجى لتكوينات جبل حفيت من الإيوسين الأوسط حتى بداية الميوسين ، وتشكلت هذه التكوينات بحركات رفع تكتونية كان من أشدها تأثيراً تلك التى حدثت فى عصرى الإيوسين والميوسين . ويمتد محور إلتواء هذه الطية من منطقة دوار الصدفة (منطقة الصناعية جنوب مدينة العين) فى الشمال حتى منطقة شرق العين الفايضة فى الجنوب . ويتقطع الإمتداد الطولى لهذا المحور ببعض الصدوع مثل تلك التى تقع إلى الشرق من حديقة الحيوان وإلى الشمال الشرقى من مصنع الأسمنت . وعلى ذلك فإن المظهر المورفولوجى العام لجبل حفيت هو شكل الطية الإلتوائية الطولية المحدبة ذات الجوانب الشديدة الميل وتتخذ الطية تبعاً لذلك شكل ظهر الحوت - *Whale Back Dome* الذى يمتد إمتداداً طوليا من منطقة الصناعية شمالاً حتى منطقة شرق العين الفايضة جنوباً لمسافة تبلغ نحو ١٥ كم . وتقطع جانبى الطية

بفعل التعميق الرأسى للأودية شبه الجافة وتكوين مجموعات هائلة من الحافات الرأسية المثالية الشكل، خاصة فى تكوينات حفيت شرق العين الفايضة فى الحجر الجيرى المرجانى (تكوينات شرق العين وغربها) (شكل ٣٩) فى شرق منطقة الصناعية (لوحة ١٢) وقد استعان الباحث (أبو العينين ، ١٩٩٢) بتفسير الصور الجوية عند دراسة التوزيع الجغرافى للحافات الرأسى فى جبل حفيت كما استخدم المرئيات الفضائية والاستعانة بنتائج البحث الحقلى عند دراسة أثر فعل التجوية فى جبل حفيت *(Abou El-Enin, H., 1993)* .

ظاهرة المصاطب الصخرية

Structural rock - benches

قد تتكون المصاطب أو المدرجات ليس فقط كنتاج لفعل التعرية النهرية أو البحرية أو الجليدية ، ولكن كذلك نتيجة لتباين التكوين الصخرى . فعندما تتعرض طبقات من الصخور الصلبة تقع فوق طبقات من الصخور اللينة لعوامل التعرية المختلفة سرعان ما تتآكل الصخور اللينة بسرعة أكبر منها فى الصخور الصلبة ، وتظهر على شكل مدرجات نتيجة لاختلاف درجات النحت والتآكل فى الصخور المختلفة الصلابة . ولا يتحتم تكوين المصاطب الصخرية فى الطبقات الصخرية المائلة فقط بل قد تتكون كذلك فى الطبقات الصخرية الأفقية . وتجدر الإشارة إلى ضرورة التمييز بين كل أنواع المصاطب والمدرجات المختلفة ، وإيضاح أوجه الإختلاف بين المدرجات الناشئة عن فعل أنواع التعرية من جهة ، وتلك التى تتكون نتيجة لاختلاف التكوين الصخرى من جهة أخرى . ويمكن القول أن أهم ما يميز المصاطب الصخرية ما يلى :

١ - لا يحد المصاطب الصخرية فى المنطقة الواحدة ارتفاع معين ثابت ، بل

كثيرا ما تظهر على مناسيب متفاوتة فوق سطح البحر

٢ - يحد كل من مقدمة المصطبة أو المدرج الصخرى وظهره السمك الظاهرى للطبقات الصخرية على سطح الأرض .(مكشف الطبقات) أو بمعنى آخر ان الشكل العام للمصاطب الصخرية يتفق كثيرا مع التوزيع الجغرافى للصخور الصلبة والصخور اللينة فوق سطح الأرض .

٣ - من الصعب تقسيم المصاطب وتميزها إلى مجموعات ترجع نشأتها إلى زمن معين كتلك التى يمكن تنظيمها فى حالة المصاطب التحاتية .

٤ - يتوقف امتداد المصاطب الصخرية على اختلاف التوزيع الجغرافى لانكشاف الطبقات الصخرية المختلفة على السطح .

٥ - يختلف المدرج الصخرى الواحد من حيث الشكل والانحدار والارتفاع من مدرج إلى آخر ، بخلاف الحال فى المصاطب التحاتية التى تتشابه فيما بينها إذا كانت تابعة لمجموعة واحدة. ويمكن تقسيم المصاطب أو المدرجات الصخرية حسب اتجاه ميل الطبقات التى تكون صخورها إلى الأنواع التالية :

(أ) مصاطب مع اتجاه ميل الطبقات *Dip - type benches* :

وفيها يكون انحدار سطح هذا النوع من المصاطب الذى يمتد من ظهر المدرج إلى مقدمته مع اتجاه ميل الطبقات . وقد تشاهد مثل هذه المجموعة من المدرجات فوق أسطح ميل طبقات الكوستات .

(ب) مصاطب عكس اتجاه ميل الطبقات *Anti - dip type benches* :

وهذه تتميز بأن انحدار سطحها الممتد من ظهر المدرج إلى مقدمته يكون عكس اتجاه ميل الطبقات ، وتظهر مثل هذه المدرجات عادة تحت أقدام حافات الكوستات .

(جـ) مصاطب مائلة *Oblique benches* :

وهى تمثل مرحلة وسطى بين كل من اتجاه ميل الطبقات والاتجاه العكسى لميل الطبقـــات وتتكون عادة هذه المجموعة من المصاطب على جانبى الكوستا ، وتضم أحواض نهر الكلب والبارد والزهرانى فى لبنان أمثلة متنوعة للمصاطب الصخرية المختلفة تبعا لتباين التكوين الصخرى (صخور صلبة متعاقبة فوق صخور لينة) وتأثر تكوينات تلك المناطق بحركات تكتونية بسيطة ، ونحت عوامل التعرية الصخرية اللينة بدرجة أسرع منها فى الصخور الصلبة .

الفصل الثامن

بعض الظاهرات الجيومورفولوجية التركيبية النشأة التي تتكون في القباب الصخرية والطبقات الالتوائية (المنثنية المحدبة)

قد تتميز بنيّة بعض الطبقات الصخرية من القشرة الأرضية بتكوينها على شكل قباب بركانية *Volcanic domes* أو قباب ملحية *Salt doms* (١) أو ثنيات محدبة *Anticlines* فى صخور ارسابية تبعا لتعرض التكوينات الجيولوجية لهذه الثنيات الأخيرة لحركات تكتونية تغير فى نظام بنية لطبقات . وإذا كانت هذه الحركات قد حدثت فى الصخور الإرسابية بالتدريج وببطء شديد فقد ينجم عنها حدوث تموجات فى الطبقات الصخرية محدودة الارتفاع ، غير أنها قد تكون فى نفس الوقت واسعة الامتداد وأن الطبقات الصخرية فيها ذات ميل تدريجى بسيط ، كما يظهر ذلك فى بعض أجزاء من منطقة مرتفعات سينسيناتى *Cincinnati* وإقليم مرتفعات ناشفيل *Nashville* فى الولايات المتحدة الأمريكية . أما إذا كانت الحركات التكتونية شديدة بحيث يمكنها رفع الطبقات الصخرية إلى أعلى بمقدار كبير ، فقد ينجم عن هذه الحركات تكوين ثنيات صخرية محدبة هائلة الارتفاع غير أنها قد تكون فى نفس الوقت محدودة الامتداد تبعا لقصر طول جوانبها وشدة ميل الطبقات الصخرية . وتتمثل هذه الحالة فى مرتفعات بيج هورن *Big Horns*

---

(١) يقصد الباحث بالقباب Domes هنا ، كلا من القباب النارية النشأة ، وكذلك القباب الملحية ، أما الثنيات الصخرية المحدبة Anticlins فهى تلك التى تحدث فى الصخور الرسوبية تبعا لحركات الرفع التكتونية . وكل من هذه الظواهر قد تظهر على سطح الأرض على شكل قباب مستديرة الشكل ومن ثم صنفت من حيث شكل المظهر العام فى مجموعة واحدة .

ومرتفعات بلاك هيلز *Black Hills* بولاية وايومينج *Wyoming* في غرب الولايات المتحدة الأمريكية .

وإذا تعرضت الثنيات الصخرية في الصخور الرسوبية المحدبة الشديدة الميل ، لفعل عوامل التعرية المختلفة ، فلا ينجم عن تآكل صخورها اللينة تكوين ظاهرات الكوستات التي سبق الحديث عنها ، ولكن قد تتكون في هذه الحالة ظاهرة الحافات الشديدة الانحدار *Hog Backs or Homoclinal Ridges* . أما إذا كانت القباب الصخرية *Domes* بركانية أو نارية النشأة وتتركب كلية من المصهورات اللافية ، فلا يساعد تركيبها الصخري ، عند تعرضه لفعل عوامل التعرية على تكوين ظاهرات الكوستات ، حيث لا تتصف الصخور هنا بالطباقية وتظهر على سطح الأرض شكل قباب مختلفة الحجم .

ولا تختلف الثنيات الصخرية *Anticlines* فيما بينها من حيث التكوين الجيولوجي فقط ولكنها تتباين كذلك من حيث عمرها الجيولوجي أو بمعنى آخر الزمن أو الأزمنة التي تكونت خلالها ويؤثر اختلاف العمر الجيولوجي بدوره في الخصائص الجيومورفولوجية لهذه الثنيات الصخرية وتباين أشكالها حتى ولو كانت تتركب من نفس الصخور أو تعرضت لنفس عوامل التعرية . ففي الفترة التي تمتد فيما بين ١٨٠٠ إلى ١٦٠٠ مليون سنة مضت (ما قبل الكمبري) انتابت الكتلة اللورنشية في أمريكا الشمالية حركات تكتونية متعاقبة أطلق عليها اسم حركة أتباسكا *Athabasca* وحركة هورنيان *Huronion* وحركة سدبري *Sudbury* . وقد تعرضت القارة خلال الزمن الجيولوجي الأول للحركات الكاليدونية *Caledonian Orgenesis* في العصر الديفوني التي نجم عنها تكوين الثنيات المحدبة في الصخور الرسوبية على السفوح الشمالية الشرقية من مرتفعات الابلاش والحركات التكتونية الهرسينية في العصر البرمي خلال هذه الفترة . أما مرتفعات الكورديليرا (الروكي وسلاسلها) فهذه ترجع إلى الحركات التكتونية الألبية *Alpine Orogenesis* التي حدثت أساساً في عصر الميوسين . وقد نتج عن كل هذه الحركات

التكتونية تكوين ثنيات صخرية محدبة اتخذت فى معظم الأحيان أشكال السلاسل الجبلية الهائلة الامتداد . ولكن تبعا لاختلاف الأزمنة الجيولوجية التى تكونت فيها وطول الزمن الجيولوجى الذى تعرضت له هذه المرتفعات لفعل عوامل التعرية المختلفة فقد تشكلت بظاهرات جيومورفولوجية متنوعة من إقليم إلى آخر ، ومن ثم ظهرت الطبقات الصخرية المنثنية التى تتبع الحركات الكاليدونية أو الهرسينية مثلا على السطح فى صور أشكال وظاهرات جيومورفولوجية أقل امتدادا وارتفاعا إذا ما قورنت بنتائج الحركات التكتونية الألبية الحديثة .

وقد يتداخل فى تكوين الثنيات الصخرية المحدبة بعض المصهورات اللافية نتيجة للنشاط البركانى ، ومن ثم عند تعرضها لفعل عوامل التعرية ينجم عنها ظاهرات جيومورفولوجية متنوعة تشكل المظهر الجيومورفولوجى العام للمنطقة . وقد تظهر القباب الصخرية على سطح الأرض على شكل قباب مستديرة الشكل ، إلا أنه تبعا لاختلاف التكوين الصخرى الصخرى من ناحية (نارية أو رسوبية) وقوة الحركات التكتونية والأزمنة الجيولوجية التى حدثت خلالها من ناحية أخرى يمكن تصنيف كل من هذه القباب والثنيات الصخرية المحدبة إلى المجموعات التالية :

١ - القباب النارية البركانية *Volcanic domes*

٢ - القباب الصخرية الملحية *Salt domes*

٣ - قباب الثنيات المحدبة فى الصخور الرسوبية *Anticlinal domes*

أولا : القباب النارية البركانية

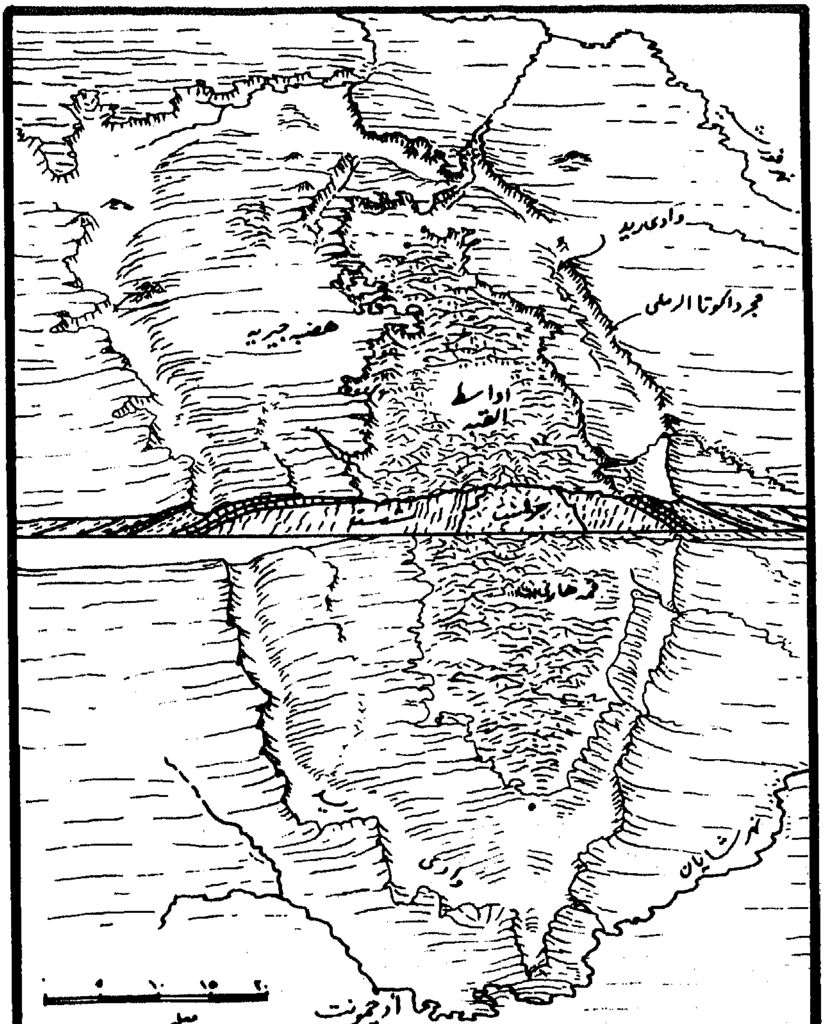
Volcanic Domes

ويقصد بهذه المجموعة من القباب الصخرية تلك التى تتكون من صخور نارية ، تتجمع مصهوراتها اما داخل القشرة الأرضية وبالقرب من سطح الأرض وتسمى فى هذه الحالة باسم الصخور المتداخلة *Intrusive Rocks* ، أو قد تنبثق المصهورات من باطن الأرض وتظهر على السطح وعلى ذلك يطلق

عليها اسم الصخور السطحية *Extrusive Rocks* أو الصخور البركانية *Volcanic Rocks* تبعا لنشأتها نتيجة النشاطات البركانية المختلفة ويمكن تمييز ثلاث مجموعات ثانوية من هذه القباب النارية البركانية تشمل :

(أ) قباب تتركب من الصخور النارية الداخلية ثم قد تترسب فوقها طبقات صخرية ارسابية مختلفة حديثة العمر بالنسبة للصخور النارية السفلية ، وعندما تتعرض لحركات رفع تكتونية قد يؤدى ذلك إلى ارتفاع القباب إلى أعلى وتشكيل الطبقات الارسابية العليا بالانثناءات المحدبة على جانبى القباب البركانية . ومن بين أحسن الأمثلة لهذه المجموعة من القباب الصخرية منطقة مرتفعات بلاك هيلز *Black Hills* فى غرب الولايات المتحدة (شكل ٤٠) . وتتركب الصخور السفلى لهذه المرتفعات من صخور الجرانيت وتعلوها الشيست ويرجع عمر كل منهما إلى زمن ما قبل الكمبرى *Pre- Cambrian Age* . وتترسب فوق هذه الكتل النارية القديمة طبقات من الحجر الجيرى ويتعاقب فوقها طبقات من الحجر الرملى الداكوتى *Dakota Sandstone* ولم تتبعج هذه الطبقات الأخيرة إلا فى أواخر الزمن الجيولوجى الأول ، تبعا لتأثر الكتل النارية السفلية بفعل الحركات الهرسينية .

(ب) قباب تتركب من الطفوح البركانية داخل القشرة الأرضية ، وتتجمع عادة فيما بين طبقات صخرية منثنية ، ويطلق عليها تعبير قباب اللاكوليث *Laccolithic Domes* . وتعزى القباب الصخرية البركانية لمرتفعات «هاى وود» *Highwood* فى أواسط ولاية مونتانا *Montana* إلى هذه المجموعة من القباب . وتتكون هذه المنطقة الأخيرة من تسع قباب بركانية تأثرت بفعل عوامل التعرية المختلفة ، التى تشكلت كل منها بظاهرات جيومورفولوجية متباينة . ويظهر بعض القباب البركانية على شكل موائد صخرية صغير مربعة الشكل *Square Buttee* ويبلغ متوسط ارتفاعها نحو ٢٠٠٠ قدم فوق سطح الأراضى المجاورة ، أما بعضها الآخر فيظهر على شكل كتل صخرية مستديرة الشكل *Round or Plaisade Buttee* ويقل ارتفاع هذه الكتل

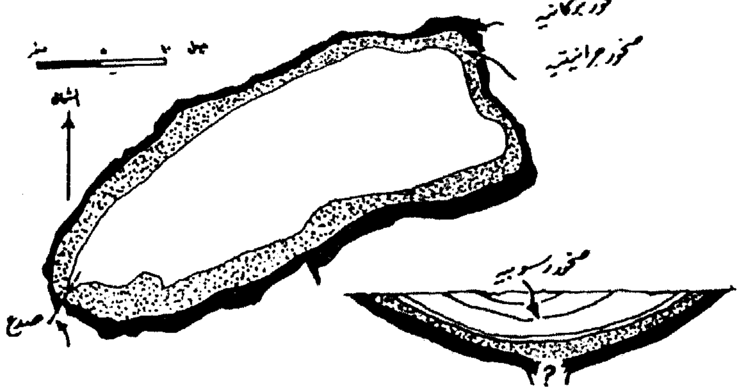


(شكل ٤٠) قبة «بلاك هيلز» البركانية - غرب الولايات المتحدة الأمريكية

الصخرية الأخيرة عادة عن ٨٠٠ قدم فوق سطح الأراضى المجاورة .

(جـ) قباب صخرية تتركب من حلقات دائرية الشكل من الطفوح البركانية تحصر بينها مجموعات أخرى من الصخور ، وهذه الحالة نادرة الحدوث وتعرف بنية الطبقات الصخرية هنا باسم *Cryptovolcanic Structure* . وترجع نشأة هذا النوع من القباب حسب آراء الباحث بوشر *Bucher* عام ١٩٣٦ ، إلى أثر فعل انبثاق كميات هائلة الحجم من الغازات التى تصاحب الثورانات البركانية من الأعماق البعيدة فى باطن الأرض (شكل ٤١) .

ومن بين أمثلة هذه القباب تلك التى تشغل حوض شتاينهيم *Steinheim Basin* فى جنوب ألمانيا ، وقد درست أمثلة مشابهة منها فى الولايات المتحدة الأمريكية خاصة قباب «هيك» فى منطقة هاردين *Hardin Country* ، وبعض قباب ولاية ألينوا *Illinois* وقبة جبثا *Jeptha* فى منطقة شيلبى *Shelby* وبعض القباب فى ولايات كنتكى وانديانا وتنسى . وتتميز كل القباب الصخرية فى هذه المناطق السابقة الذكر بأنها تتركب من حلقات دائرية من اللافا تحصر بينها صخور أخرى قد تكون رسوبية أو نارية أو متحولة ، كما قد تتعرض هذه القباب لعمليات الرفع التكتونية وتتشكل بنية الأجزاء الجانبية والوسطى منها بواسطة حدوث فعل التصدع ، ولهذا فهى تعد جيولوجيا معقدة النشأة تبعا لتداخل عوامل تكتونية مختلفة فى تشكيلها وتعديل مظهرها .



(شكل ٤١) قطاع جيولوجى للحلقات البركانية (لابوليث) فى منطقة أونتاريو- كندا

وتتشكل قباب هذه المجموعة بظاهرات جيومورفولوجية متنوعة تبعا لاختلاف التكوين الصخرى لكل من الحلقات الدائرية البركانية والصخور الأخرى التى انحصرت داخلها ، وأثر فعل عوامل التعرية المختلفة فى نحت هذه الأنواع المتباينة من الصخور ومدى سرعة تآكلها . فإذا كانت الطبقات الداخلية المحصورة بين الحلقات البركانية تتركب من صخور شديدة الصلابة كما هو الحال فى قبة جبثا ، فينجم عنها تكون قباب هائلة الارتفاع تقاوم عمليات التعرية المختلفة . أما إذا كانت هذه التكوينات تتركب من صخور لينة ، كما هو الحال فى قبة ويل كريك *Well Creek Dome* فقد يؤدى ذلك إلى ظهور مناطق حوضية مقعرة على سطح الأرض .

ثانيا : القباب الصخرية الملحية

Salt Domes

تنشأ هذه القباب الصخرية نتيجة لتكوين كتل هائلة الحجم من الملح الصخرى *rock salt* داخل طبقات القشرة الأرضية ، وقد لاحظ الباحثون أعالى هذه القباب على السطح فى بعض أجزاء من الولايات المتحدة الأمريكية منذ عام ١٨٦٢ واستخدمت فى أغراض اقتصادية متنوعة . وينتشر هذا النوع من القباب كذلك على طول السهول الساحلية الجنوبية التى تشرف على خليج المكسيك فى ولايات تكساس ولويزيانا . كما تتمثل فى بعض أجزاء متفرقة بالقارة الأوربية خاصة فى السهول الشمالية بألمانيا وفى بعض أجزاء من مرتفعات هارتز *Harz Mts* . وعلى طول المنحدارات الجنوبية لمرتفعات الكربات ، وفى إقليم ترانسلفانيا برومانيا . كما لاحظ الباحثون ما يناظر هذه القباب الصخريـة الملحيـة فى بعض أجزاء من جمهورية مصر العربية وإيران ، والاتحاد السوفيتى ، ومراكش ، والجزائر وفى بعض الجزر الساحلية لدولة الإمارات العربية المتحدة . ويتألف هذا النوع من القباب من كتل ملحية تظهر على شكل قبة محدبة يغلفها غطاءات صخرية صلبة من صخور أنهيدريت *Anhydrite* (كبريتات الكالسيوم) والجبس *Gypsum*

والحجر الجيرى *Limestone* والدولوميت *Dolomite* . ويختلف المظهر الجيومورفولوجى للقباب الصخرية الملحية من مكان إلى آخر ، فقد تظهر أحيانا على شكل حواف صخرية اسطوانية الشكل متقطعة بواسطة وديان نهرية أخدودية عميقة أو على شكل قباب مستديرة الشكل كما هو الحال فى بعض أجزاء من السهول الساحلية حول خليج المكسيك . ويتراوح قطر القبة الصخرية الملحية فى هذا الإقليم الأخير من ميل واحد إلى أربعة أميال ، ويختلف ارتفاعها من بضعة أقدام إلى عدة مئات من الأقدام فوق منسوب سطح الأراضى المجاورة .

وقد ظلت نشأة هذه القباب الصخرية الملحية غير معروفة لمدة طويلة من الزمن كما كان من الصعب تمييز الصغير الحجم منها ، ولكن ساعد على تحديدها ودراساتها فى الوقت الحاضر استخدامات المساحة السيسمولوجية وتقدم دراسات الطبيعة الأرضية . وأهم مظاهر السطح التى قد تدل على تكوينها فوق قباب صخرية ملحية حسب دراسات باور *Power* عام ١٩٢٦ تتلخص فيما يلى :

(أ) يشغل القسم الأوسط من القبة غالبا منطقة واسعة من البرارى الملحية *Saline Prairies* .
(ب) تحتل السبخات البحيرية كذلك أجزاء كبيرة من سطح القبة .
(جـ) يظهر على طول الحواف الهامشية للقبة بعض الينابيع ذات المياه المعدنية .
(د) يشكل السطح التصريف النهرى الدائرى .
(هـ) قد يظهر فى بعض الطبقات الصخرية المجاورة أثر فعل حركات رفع بسيطة .
(و) اختلاف تكوينات التربة والغطاء النباتى فوق سطح القبة الصخرية الملحية بالنسبة للأراضى المجاورة .

ثالثا : قباب الثنيات المحدبة في الصخور الرسوبية

Anticlinal domes

قد تتعرض الطبقات الصخرية الرسوبية خلال عمرها الجيولوجى الطويل إلى حركات رفع تكتونية تؤدى إلى تمعج طبقاتها وتكوين ثنيات محدبة تختلف من منطقة إلى أخرى تبعا لشدة حركات الرفع التى تشكل ميل الطبقات ودفعها إلى أعلى . وقد تشغل هذه الثنيات المحدبة منطقة واسعة المساحة خاصة إذا كان ميل الطبقات بسيطا وفى اتجاهين متضادين تبعا لحركات رفع تكتونية تدريجية بسيطة . وتنتشر أمثلة هذه الثنيات الصخرية فى كل قارات العالم ومنها الثنيات الصخرية المحدبة فى قوس سينسيناتى ، وثنيات سان رفائيل *San Rafael* فى ولاية يوتا ، وثنية زونى *Zuni* فى شمال غرب المكسيك وثنيات يلج والمغارة فى شمال شبه جزيرة سيناء بجمهورية مصر العربية . وتتميز الطبقات الصخرية فى كل هذه الثنيات المحدبة بميل تدريجى بسيط بحيث يبدو للعين المجردة كأنها طبقات أفقية مستوية الامتداد ، ولكن أهم ما يدل على أنها فعلا ثنيات صخرية محدبة هو أن أواسطها تتركب من طبقات صخرية قديمة العمر نسبيا تبعا لتعرية إزالة الطبقات الصخرية العلوية الأحدث عمرا ، ويلاحظ أن الطبقات الصخرية على السطح تكون أحدث عمرا كلما ابتعدنا عن قلب أو محور الثنية المحدبة واقتربنا من أطرافها . وتبعا لميل الطبقات التدريجى على جانبى الثنيات المحدبة فقد تتشكل جوانبها عادة بمجموعات الكوستات السلمية التى تنشأ بفعل تآكل الصخور اللينة بواسطة عوامل التعرية المختلفة ، وتكوين الحافات الشديدة الانحدار على طول نطاق الصخور الصلبة .

وتجدر الاشارة كذلك إلى أن هناك بعض الثنيات الصخرية المحدبة تنتمى إلى هذه المجموعة ، إلا أن قلب الثنية قد يتشكل بفعل الثورانات والطفوح البركانية كما هو الحال فى بعض الثنيات الصخرية المحدبة فى أقاليم ويسكونسين *Wisconsin* وأوزارك *Ozark* وأونتاريو *Ontario* فى أمريكا الشمالية . وعلى الرغم من أن الأدلة الجيولوجية تؤكد تعرض الطبقات

الرسوبية لعمليات الرفع التكتونية التدريجية ، إلا أنه قد يكون لانبثاق اللافا البركانية من أعماق بعيدة من باطن الأرض وظهورها على السطح بعض الأثر فى تشكيل المظهر العام لهذه الثنيات الصخرية المحدبة .

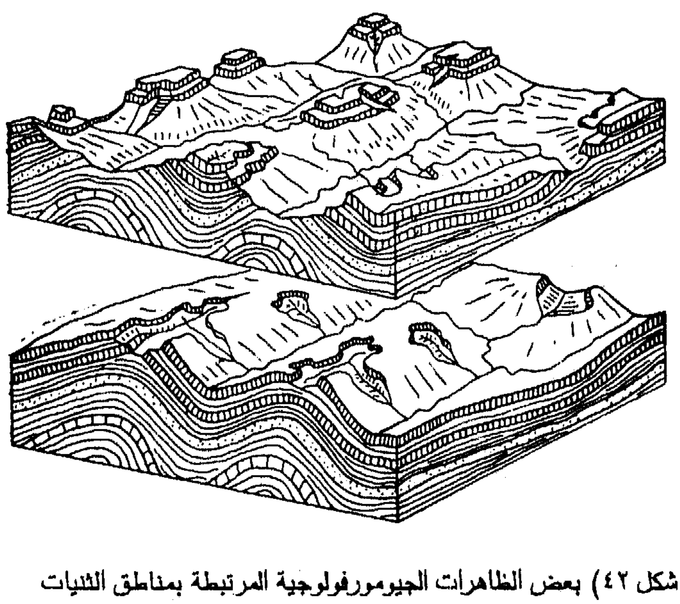
المظهر الجيومورفولوجي العام للقباب والثنيات الصخرية المحدبة وبعض أمثلة لها في أجزاء مختلفة من العالم

يتوقف المظهر الجيومورفولوجى العام للقباب والثنيات الصخرية المحدبة أساساً على اختلاف طول الزمن الذى تعرضت خلاله هذه القباب والثنيات للتشكيل بفعل عوامل التعرية المختلفة من ناحية ، وعلى مدى درجة ميل الطبقات التى يتوقف عليها نظام بنية الثنيات الصخرية من ناحية أخرى . ويمكن القول بأنه من النادر ان لم يكن من المستحيل مشاهدة قباب نارية ممثلة فوق سطح الأرض دون أن تتعرض أعاليها لفعل عوامل التعرية المختلفة . وان وجدت بعض القباب الصخرية التى لم تتأثر كثيرا بفعل هذه العوامل فهذه قد تكون قباب بركانية صغيرة الحجم أو قباب صخرية ملحية أو قباب صخرية بلايوستوسينية حديثة النشأة جدا ، مثل ثنيات تلال كيوت *Coyote Hills* فى حوض لوس أنجلوس بأمريكا الشمالية .

وقد دلت الدراسات الجيومورفولوجية على أن المظهر الأولى الأصلى *Initial Appearance* للثنيات الصخرية المحدبة التى تتكون خاصة فى الطبقات الرسوبية وتظهر أعاليها فوق سطح الأرض يتشكل بواسطة التصريف النهرى الدائرى تبعا لاتجاه وانحدار الأسطح الأصلية الأولى *Initial Surface* لهذه الثنيات . ولكن خلال المراحل الأخرى المتعاقبة لا تتأثر المجارى النهرية كثيرا بالانحدار الأصلى العام ، بل تحاول جاهدة شق مجاريها خلال الطبقات الصخرية اللينة ، أو على طول مناطق الضعف الجيولوجية ، ومن ثم قد يتكون نوع آخر من أشكال التصريف النهرى هو التصريف المتشابك . وأساس هذا النوع الأخير من التصريف النهرى هو تكوين أنهار تتبع مجاريها مضرب الطبقات *Strike - line* وتعرف باسم الأنهار التالية *Subsequent Streams* .

وحيث تتكون هذه المجارى النهرية على طول مناطق الضعف الجيولوجية ، لذا فهى تتميز بشدة نشاط النحت الرأسى والجانبى وتتراجع خلفيا بدرجة أسرع منها إذا ما قورنت بمجارى الأنهار الأخرى التى تقع فى نفس الحوض النهري. وعلى ذلك فتعمل أنهار مضرب الطبقات على أسر معظم المجارى النهرية الأخرى وتشكيل التصريف النهرى فى المنطقة بصورة جديدة لم تكن موجودة من قبل (شكل ٤٢) .

وعند ظهور الثنيات الصخرية المحدبة فوق سطح الأرض ، فإن قممها العالية تعد أولى المناطق التى تتعرض لفعل أنواع التعرية المختلفة . فإذا كانت القمم تتكون من صخور لينة ، فإن فعل عوامل التعرية يكون سريعا وشديدا وتتآكل الطبقات الصخرية تبعا لتوالى حدوث عمليتى النحت الرأسى والجانبى للأنهار . وتبعا لهذه العوامل السابقة تتكون أحواض عميقة فى مناطق أعالى الثنيات الصخرية المحدبة بينما أجزاء سطح الأرض التى تتركب صخورها من طبقات منثنية مقعرة قد تصبح أعلى منسوباً من قمم



(شكل ٤٢) بعض الظاهرات الجيومورفولوجية المرتبطة بمناطق الثنيات الصخرية المحدبة والمقعرة

الثنيات المحدبة المتآكلة ، تبعا لتجمع الرواسب فوقها ، وهذا ما أطلق عليه وليم موريس دافيز تعبير انقلاب السطح أو عدم توافق المظهر الجيومورفولوجى للسطح بالنسبة للتركيب الصخرى *Inversion of Relief* . أما اذا كانت الطبقات الصخرية التى تتركب منها أعالى الثنيات المحدبة تتألف من صخور شديدة الانحدار ، وتعمل على شدة تضرس الإقليم وزيادة وعورته . وتعتبر منطقة مرتفعات أوزارك *Ozark* فى السهول الوسطى بالولايات المتحدة الأمريكية من بين أحسن الأمثلة على ذلك ، حيث إن قلب الثنيات الصخرية المحدبة يتركب من صخور جرانيتية شديدة الصلابة .

وتعد منطقة مرتفعات الأبلاش من بين أظهر الأمثلة التى توضح العلاقة بين كل من التركيب الصخرى وعوامل التعرية المختلفة وأثرهما فى تشكيل ظواهر سطح الأرض المختلفة فى مناطق الثنيات الصخرية المحدبة . وقد دلت الدراسات الجيولوجية على أن السفوح الشمالية الغربية لمرتفعات الابلاش تكونت فى العصر الديفونى ابان حدوث الحركات التكتونية الكاليدونية ، إلا أن معظم سلاسلها الوسطى والجنوبية نتجت بفعل الحركات التكتونية الهرسينية فى العصر البرمى . وتبعا لتعرض هذه المرتفعات لعوامل التعرية المختلفة مدة طويلة من الزمن ، شغلت أعاليها سهول تحاتية مستوية السطح واسعة الامتداد . وقد امتدت هذه السهول فوق طبقات صخرية مختلفة منها الصخور الرملية الخشنة الحصوية (الكونجلو مرات *Conglomerate*) والصخور الرملية *Sandstones* وتبعا لاختلاف فعل عوامل التعرية فى الصخور *differential erosion* ، تكونت الحافات الصخرية الصلبة فى المنطقة على طول الطبقات الصخرية الشديدة الصلابة ، ويفصل بين هذه الحافات الصلبة أما مناطق سهلية منخفضة أو أحواض مقعرة ، عمقت بواسطة الأودية النهرية الأخدودية وذلك تبعا لتوالى عمليات النحت الرأسى والجانبى فى مجارى الأنهار النشيطة التى تمتد فوق الصخور الصلصالية اللينة .

وتتمثل فى مرتفعات الابلاش عدة ظواهر جيومورفولوجية ، تعتبر من بين

أهم خصائص المناطق الصخرية المحدبة فى العالم ويمكن أن نلخصها فيما يلى :

(أ) الأودية التى تنشأ فوق أعالى الثنيات الصخرية المحدبة *Anticlinal Valleys* وهذه تشق بواسطة مجارى نهرية نشيط تتبع اتجاه مضرب الطبقات (شكل ٤٢) .

(ب) الحافات والحواجز الصخرية التى تنشأ على طول الطبقات الصلبة فى منطقة أعالى الثنيات الصخرية المحدبة *Anticlinal Ridges* .

(جـ) الأودية النهرية التى تنشأ فوق الثنيات الصخرية المقعرة *Synclinal Valleys* وهذه قد تشق بواسطة أنهار مضرب الطبقات أو مازال يجرى فيها أنهار ميل الطبقات الأولى ، هذا فضلا عن تعرض هذه الأودية لفعل الامتلاء التدريجى بالرواسب التى تنحدر إليها من المناطق العليا المجاورة .

(د) الحواجز الصخرية التى تنشأ فى الثنيات الصخرية المقعرة *Synclinal Ridges* وتتكون هذه الحافات عندما تتعرض أعالى المحدبات الصخرية لفعل التآكل التدريجى ، ومن ثم ينخفض منسوبها ، وتعلو صخور المقعرات الصخرية ، فوق الأودية العميقة التى حفرت أعالى المنثنيات . وتمد هذه الحافات على طول الطبقات الصخرية الصلبة فى المناطق المقعرة (شكل ٤٢) .

(هـ) الحافات والحواجز الرأسية الشديدة الانحدار *Homoclinal Ridges* والتى تتكون فى الطبقات الشديدة الميل على جانبى الثنيات الصخرية .

(و) الأودية الرأسية التى تشق الطبقات الصخرية الشديدة الميل *Homoclinal Valley* والتى تقع عادة تحت أقدام الحافات الرأسية

الفصل التاسع

بعض الظاهرات الجيومورفولوجية التركيبية النشأة التي تتكون في المناطق الصدعية (الانكسارية)

يؤدى حدوث الصدوع (الانكسارات) إلى تغيير نظام بنية الطبقات الصخرية مما يلزم باحث الجيولوجيا أن يبذل جهدا كبيرا فى الحقل حتى يتسنى له أن يميز الصورة الأولى التى كان عليها نظام الطبقات قبل حدوث حركة التصدع . ولا تهم هذه الدراسة باحث الجيولوجيا فقط الذى يختص بدراسة تركيب الطبقات وترتيبها ونظام بنيتها ، وأثر حدوث الحركات التكتونية ومنها الصدوع فى تشكيل بنية صخورها ، بل أن الجيومورفولوجى يهتم كذلك بدراسة أثر هذه الصدوع فى تشكيل مظهر سطح الأرض وتعديل ظواهره . وقد يستفيد الجيولوجى نفسه من الدراسات الجيومورفولوجية الخاصة بظواهر سطح الأرض حيث يستدل من الأخيرة على الأثر الناتج عن حدوث فعل التصدع ومن ثم يصبح من السهل تمييز الصدوع بعد الدراسة التفصيلية لظاهرات سطح الأرض وتحديد مميزاتها وخصائصها .

وتبعا لحدوث فعل التصدع فى الصخور قد ينجم أن ترتفع أو تنخفض بعض أجزاء من طبقات سطح الأرض أو تحدث زحزحة جانبية فيها ، هذا بالاضافة إلى تكوين ظواهر جديدة أخرى لم تكن ممثلة فى الطبقات الصخرية من قبل . وتعتبر المناطق الصخرية التى تقع على طول أسطح الصدوع *Fault planes* من المناطق الصخرية الضعيفة جيويوجيا وتبعا لحدوث زحزحة الطبقات الرأسية أو الجانبية فيها ، تسحق الطبقات الصخرية وتتكوّن صفائح من البريشيا المفتتة *Curshed or Brecciated Zones* .

وهناك رأيان مختلفان فى شأن مدى سرعة عوامل التعرية وتشكيل ظواهر سطح الأرض الناجمة على طول أسطح الصدوع يمكن أن نوجزها فيما يلى :

١ – يعتقد أصحاب الرأى الأول أن عوامل التعرية تكون سريعة ونشيطة

على طول مناطق الضعف الجيولوجى وخاصة مناطق أسطح الصدوع ، وأن أثر فعل عوامل التعرية يحدث فى نفس الوقت الذى يتكون فيه الصدع نفسه . ويؤكد بعض الباحثين أن الظواهر الجديدة التى تنشأ تبعا لحدوث الصدوع قد تتطور فى نموها ثم تنتهى وتتلاشى بانتهاء حدوث فعل التصدع نفسه ، ومن ثم أطلق الباحثون على مثل هذه الظواهر تعبير الظواهر سريعة الزوال *ephemeral features* . وتبعا لآراء هذه الفئة من الباحثين فإن كل ظاهرات سطح الأرض التى تتوقف نشأتها تبعا لحدوث الصدوع هى فى الواقع ظاهرات نتجت أساسا تبعا لأثر فعل عوامل التعرية فى تشكيل الطبقات الصخرية التى تعرضت لفعل التصدع وليست ظاهرات ناتجة عن أثر فعل الصدوع نفسها .

٢ - ويعتقد الفريق الثانى أن عمليات حدوث التصدع هى فى الواقع عمليات سريعة بحيث إنها لا تعطى فعل التعرية الوقت اللازم الذى يمكنها أن تعدل فيه من مظهر سطح اللأرض وتشكيل ظواهره وذلك فى الوقت القصير المحدد الذى يتم فيه حدوث عملية التصدع . وان كان هناك مجالات لفعل عوامل التعرية أثناء فعل التصدع فإنها تقتصر على تعرض أنواع الصخر المختلفة الصلابة والتركيب لفعل التجوية الميكانيكية . وتتآكل بالتالى الطبقات اللينة بدرجة أسرع منها فى الطبقات الصلبة وهو ما يطلق عليه تعبير تباين فعل التجوية *Differential Weathering* . ومن ثم تتضح أهمية الدراسة الخاصة بالحركات الصدعية وعدم حصر عمل الباحث على تحديد الأسس التى يمكن أن يتعرف خلالها على حدوث الصدوع فى الحقل ، ولكن يلزم عليه كذلك أن يحدد ما إذا كانت ظاهرات سطح الأرض الحالية هى ظاهرات ترجع نشأتها إلى التركيب الصخرى وحدوث فعل التصدع نفسه ، أم هى ظاهرات نتجت أساسا عن أثر فعل التعرية فى الأنواع المختلفة من الصخور الصدعية .

أنواع الحافات الصخرية

تعتبر الحافات الصدعية *Fault Scarps* ، من بين أهم الظاهرات الجيومورفولوجية التى قد تنتج عن حدوث عمليات التصدع . وأول من استخدم هذا المصطلح هو الباحث راسيل *Russell, 1884* ليشير إلى الحافات التى تمتد على طول أسطح الصدوع عند دراسته الجزء الشمالى الغربى من الحوض العظيم فى جنوب شرق ولاية أوريجون (غرب الولايات المتحدة الأمريكية) . ولا تقتصر نشأة الحافات الصخرية على حدوث الصدوع فى الصخور فقط ، بل يمكن أن نميز عدة أنواع أخرى من الحافات تنشأ تبعا لعوامل مختلفة من بينها :

(أ) حافات الكوستات *Escarpments or Cuesta Scarps* الشديدة الانحدار والتى تتكون واجهاتها فى عكس اتجاه ميل الطبقات ، وقد ترجع نشأتها إلى أثر فعل التعرية الهوائية أو النهرية وهى كما سبقت الاشارة من قبل تعد ظاهرة جيومورفولوجية تركيبية النشأة .

(ب) الجروف الصخرية البحرية *Marine Cliffs* التى تنتج عن فعل الأمواج وقد ترمز كذلك إلى امتداد الشواطئ البحرية القديمة *Ancient coast lines* .

(جـ) حافات صخرية حائطية الشكل قد تظهر على جوانب كل من الأودية الأخدودية العميقة والأودية الجليدية ولكن تتميز الحواف الصخرية من هذا النوع بأنها حافات مزدوجة شبه متوازية الامتداد ، تتبع اتجاه كل من الثلاجات أو المجارى النهرية وتشكل جانبى كل منهما .

(د) قد تكون اللوافظ البركانية وتجمعات اللافا حواف صخرية ، كما قد ينجم عن أثر حدوث انهيارات الأرض وانزلاقها نشوء حافات صخرية مقوسة الشكل .

(هـ) قد تبدو مقدمات التلال والمرتفعات الجبلية على شكل حواف صخرية ، إذا ما تعرضت هذه المرتفعات لمدة طويلة من الزمن لفعل التعرية

المختلفة . وتنتشر هذه الحالة فى المناطق الصحراوية حيث تتمثل الحواف الجبلية الصخرية عند مقدمات الجبال التى تشرف على السهول المستوية الصخرية الحصوية أو الرملية .

وقد ميز الباحثون نوعا آخر من الحافات أطلق عليه اسم «الكتل الصدعية» *Fault blocks or Block - faulted Topography* . وقد اشتق هذا التعبير فى ضوء نتائج الدراسات الجيومورفولوجية التى أجريت فى إقليم الحوض العظيم *Great Basin* فى غرب الولايات المتحدة الأمريكية . ويضم هذا الإقليم السابق أحسن الأمثلة للظاهرات المعروفة باسم الأحواض والسلاسل الصدعية *Basin and Range Topography* . ويستخدم تعبير الكتل الصدعية فى الوقت الحاضر لكى يرمز إلى كل من الحواف الصدعية الناجمة عن حدوث التصدع ، وتلك التى تعرضت لفعل التعرية لمدة طويلة من الزمن بعد حدوث عملية التصدع نفسها .

والشكل المورفولوجى العام لمنطقة الأحواض والسلاسل الصدعية فى الحوض العظيم فى غرب الولايات المتحدة الأمريكية يعد نوعاً واحداً ، من تلك الأشكال التضاريسية التى قد تنجم عن أثر حدوث فعل التصدع . وقد درس هذا الإقليم دراسة تفصيلية فى كتابات بعض الباحثين ومن بينهم وليم موريس دافيز ، وراسيل ، وبلاك فيلدر ، وكوتون .

الحافات الصخرية التي تصاحب حدوث فعل التصدع

يعتبر الأستاذ وليم موريس دافيز فعل التصدع وظواهر سطح الأرض الناتجة عنها . وقد ميز دافيز بين نوعين من الحافات الصخرية هما :

(أ) النوع الأول وهو الذى ينتج مباشرة عن أثر حدوث عمليات التصدع نفسها .

(ب) النوع الثانى وهو الناتج أصلا عن أثر عمليات التعرية والتجوية الميكانيكية على طول أسطح الصدوع أو بجوارها .

وقد أطلق دافيز على المجموعة الأولى تعبير «الحافات الصخرية الصدعية *Fault Scarps*» أما حافات النوع الثانى فعرفت باسم «حافات أسطح الصدوع *Fault line Scarps*» .

وحسب هذا التقسيم فإن الحافات الصدعية تتكون مع نشأة وتكوين عمليات التصدع نفسها ، أما حافات أسطح الصدوع فهذه تتشكل بعد حدوث عمليات التصدع بمدة من الزمن قد تكون قصيرة أو طويلة تبعا لمدى فعل عوامل التعرية واختلاف التكوين الصخرى للمنطقة . وقد اعترض الأستاذ جونسون *Johonson, 1939* على هذين التعبيرين السابقين وأوضح أن بعضاً من الحافات الصدعية قد لا تنشأ على أسطح الصدوع نفسها ، بل أن معظم الحافات الصدعية المختلفة خاصة (إذا كان مظهرها الجيومورفولوجى فى مرحلة النضج أو الشيخوخة) قد تبعد كثيرا عن أسطح الصدوع تبعا لفعل عوامل التعرية التى تؤدى إلى تراجع الحافات الصخرية . وقد تكون عملية التراجع سريعة ومن ثم تبعد الحافات الصخرية مسافات بعيدة عن أسطح الصدوع إذا تعرضت الحافات لفعل التعرية النهرية الجبلية الشديدة *Gully erosion* أو لفعل كل من التساقط والانزلاقات الأرضية *Rockfalls and Landsildes* . وعلى ذلك فالحافات الصدعية التى تكونت حديثا ويبدو مظهرها الجيومورفولوجى فى مرحلة الطفولة تقع غالبا على أسطح الصدوع نفسها وتحتفظ بمعظم ان لم يكن كل الظواهر التى تشير إلى حداثة نشأتها بفعل حركات التصدع أما الحواف الصدعية التى تنشأ تبعا لحركات تصدع قديمة ، وان مظهرها الجيومورفولوجى قد تطور وأصبح فى مرحلة الشيخوخة فهذه تقع غالبا بعيدة عن أسطح الصدوع نفسها ، وتفتقد كثيرا من صورتها الأصلية حتى تلك الأدلة الرئيسة التى تساعد على تميزها بفعل التصدع . وتبعا لاستمرار تراجعها الخلفى يقل ارتفاعها وتتأثر انحداراتها بفعل التعرية النهرية الجبلية وأهم ما يساعد فى نشأة الحافات الصخرية على أسطح الصدوع فعل عوامل التعرية فى تكوينات صخرية مختلفة التركيب والصلابة

على جانبى أسطح الصدوع نفسها . وعلى ذلك فمعظم حافات أسطح الصدوع تتكون على مراحل متعاقبة تبعا لمدى نشاط فعل التعرية المختلفة . وقد يصادف أن تكون عوامل التعرية نشيطة جدا بحيث أنها تعمل على تكوين حواف أسطح الصدوع فى وقت قصير ، وغالبا ما يحدث ذلك عندما تتعرض الحواف الصدعية الأصلية لفعل التعرية النشيطة وتنحت وتتلاشى بالتدريج لتترك بجانبها حواف صخرية أخرى بجوار أسطح الصدوع ، وتجدر الاشارة إلى أن حواف أسطح الصدوع تعد أوسع انتشارا من الحافات الصدعية نفسها . وان دل وجود الأولى على شئ فإنما يدل على تعقد مراحل التطور الجيولوجى للمنطقة .

وقد حاول كثير من الباحثين ايضاح الأدلة المختلفة التى قد يمكن بواسطتها التمييز بين كل من الحافات الصدعية وحافات أسطح الصدوع ، ذلك لأن كلا منهما يدل على دورة تحاتية مختلفة تبعا لاختلاف نشأتهما . وقد اهتم بهذه الدراسة الأستاذ جونسون *Johnson, 1929* الذى عنى بدراسة إقليم هضبة كلورادو فى غرب الولايات المتحدة الأمريكية وتحديد مدى أثر فعل حركات التصدع فى تشكيل الظواهر الجيومورفولوجية فى هذا الإقليم .

وقد سبق أن ميز الأستاذ داتون *Dutton* ــ فى نفس هذا الإقليم من قبل وذلك فى عام ١٨٨٢ ــ بعض الحواف الصخرية الصدعية ، ورجح أن هذه الحافات تكونت فى مرحلة حديثة العمر تبعت تكوين المظهر الأولى للمنطقة ، وأطلق على هذه المرحلة اسم مرحلة التعرية الكبرى . ومن ثم فقد استنتج أن نهر كلورادو عبارة عن نهر مناضل عمل على الاحتفاظ بمجراه الأصلى على الرغم من تأثر مجراه بالحركات الصدعية المختلفة .

أما الدراسات الحديثة فى منطقة هضبة كلورادو والتى قام بها كل من بلاك فيلدر *Blackwelder* عام ١٩٣٤ ولونج ويل *Longwell* عام ١٩٤٦ فهى تشير إلى أن معظم الحافات الصخرية فى إقليم كلورادو تعد من نوع الحافات التى تنشأ بجوار أسطح الصدوع *Fault-line Scarps* ، وان عمليات

التصدع نفسها حدثت منذ فترة جيولوجية قديمة بحيث أنها سبقت دورة أو مرحلة «التعرية الكبري» الحديثة التى سبق أن رجحها داتون من قبل . وعلى ذلك فقد رجح كل منهما أن نهر كلورادو عبارة عن نهر منطبع *Superimposed Stream* ، وحسب رأيهما قد تكون فوق سهل تحاتى قديم ، أزيل بواسطة عوامل التعرية المختلفة ثم طبع النهر مجراه فوق أسطح الصدوع القديمة .

وقد أوضح دافيز *W. M. Davis* أن الحافات التى تمتد على أسطح الصدوع أو بجوارها قد تشابه الاتجاه الذى يواجهه أسطح الصدوع نفسها ، أو قد لا تشابهه وهذا يتوقف على خصائص التكوين الصخرى للحافات ومدى تأثرها بعمليات النحت الرأسى بفعل التعرية النهرية . فإذا كانت الطبقات التى رميت إلى أعلى *upthrow side* تبعا لحركات التصدع تتكون من صخور صلبة وتلك التى رميت إلى أسفل *down throw side* تتكون من صخور لينة فإن الطبقات الصلبة العليا تكون حافات صخرية تواجه نفس الاتجاه الذى تواجهه الطبقات الصدعية العليا . وقد أطلق الأستاذ دافيز على مثل هذه الحافات تعبير *Resequent Fault-line Scarps* . أما إذا كانت الطبقات التى رميت إلى أعلى مكونة من صخور لينة وتلك التى رميت إلى أسفل مكونة من صخور صلبة ، ففى هذه الحالة تتكون الحافات بفعل أنواع التعرية المختلفة على طول أسطح الصدوع فى الطبقات السفلى الصلبة ، ويصبح اتجاه الحافة فى هذه الحالة عكس اتجاه الحافات الصدعية وأطلق دافيز على هذه الحافات تعبير *Obsequent Fault-line Scraps* . وليس من الصعب تمييز مثل هذه الحافات فى الحقل طالما كان من اليسير تحديد كل من الطبقات العلوية والطبقات السفلية على طول أسطح الصدوع ، ذلك لأن الحافات الناشئة فى الطبقات السفلى سيكون مرجعها غالبا عوامل التعرية وليس عامل حدوث التصدع فى الصخور . ولكن قد يكون من الصعب تمييز الحافات الصدعية أحيانا فى الطبقات التى رميت إلى أعلى بواسطة فعل التصدع . ومن ثم يتحتم على الباحث أن يدرك التاريخ الجيولوجى والتطور الجيومورفولوجى

للمنطقة المقصودة بالدراسة .

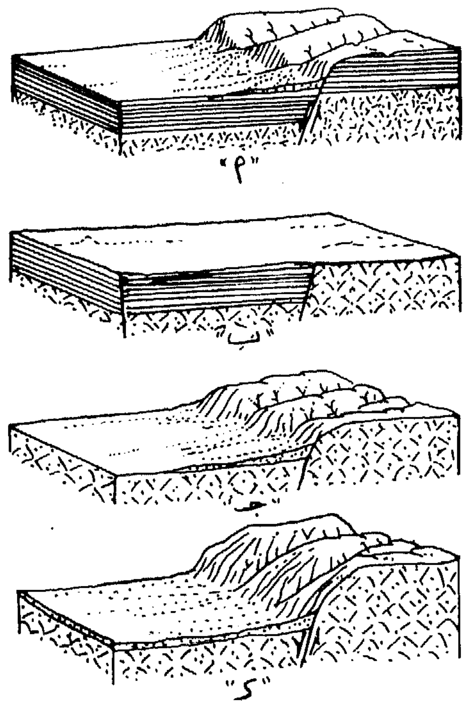
وقد أوضح الأستاذ كوتون *Cotton* عام ١٩١٧ أن هناك بعضا من الحافات الصخرية التى ترجع نشأة أجزاء منها ـ خاصة الواقعة على أسطح الصدوع أو بجوارها ـ إلى فعل التصدع نفسه ولكن فى بعض أجزاء أخرى قد ترجع نشأتها إلى فعل أنواع التعرية المختلفة وليس لعامل حدوث التصدع . وقد أطلق كوتون على هذه المجموعة تعبير «الحافات المركبة» *Composite Scraps* وقد أضاف كوتون كذلك إن هذا النوع الأخير من الحافات قد يتكون تبعا لما يلى :

(أ) قد تتكون حافات صدعية نتيجة لحدوث صدوع فى طبقات صخرية مختلفة التركيب الجيولوجى ، ثم تتوقف بعدها عمليات التصدع . وإذا تصادف تكوين طبقات لينة فى نطاق الصخور السفلية للصدوع وتعرضت لفعل عوامل التعرية المختلفة فقد يؤدى ذلك إلى تكوين حافات صخرية سفلية بفعل هذه العوامل الأخيرة . وعلى ذلك فيتركب الشكل العام لهذه الحافات الكبرى من حافات مركبة ، تتكون أعاليها من حافات صدعية بينما تتكون أقدامها من حافات صخرية بفعل عوامل التعرية .

(ب) قد تتكون الحافات المركبة كذلك تبعا لعوامل أخرى مختلفة حسب آراء الأستاذ جونسون (شكل ٤٣) . فإذا تعرضت الحافات الصدعية النشأة إلى فعل عوامل التعرية ، قد تعمل الأخيرة على ازالة ملامح هذه الحافات . ثم إذا تعرض هذا الإقليم بعد ذلك لعمليات الرفع التكتونية ، فقد تتكون بالتالى حافات صخرية من فعل عوامل التعرية فى الطبقات الصدعية التى رميت إلى أسفل *Resequent Fault - line - Scraps* .

وإذا تجددت عمليات التصدع على نفس الاتجاهات التى حدثت فيها قديما من قبل ، فقد تتكون حافات صدعية فى الطبقات الصدعية التى رميت إلى أعلى . وعلى ذلك تصبح أعالى هذه الحافة مركبة من حافات صدعية بينما تتمثل تحت أقدامها حافات صخرية ترجع نشأتها إلى فعل التعرية .

وقد رجح الأستاذ شارب *Sharp* فى دراسته الجيولوجية للإقليم الواقع شمال



(شكل ٤٣) تطور عمليات الحافات المركبة حسب رأى دوجلاس جونسون

شرق ولاية نيفادا بأمريكا الشمالية عام ١٩٣٩ ، أن الحافات الشرقية للإقليم هى حافات مركبة ، وتبلغ ارتفاع هذه الحافات نحو ٤٠٠٠ قدم ، بحيث أن أقدام الحافة حتى ارتفاع ١٠٠٠ قدم عن سطح الأرض عبارة عن حافات صخرية نتجت بفعل أنواع التعرية المختلفة أما الأجزاء العليا من الحافات والتى يبلغ سمكها نحو ٣٠٠٠ قدم فهى عبارة عن حافات صدعية .

وتجدر الإشارة إلى أن بعض الجيومورفولوجيين استخدموا تعبير «الحافات المركبة» ليدل على الحافات الصخرية السلمية أو المصطبية التى تنشأ عادة فى الطبقات الصخرية المختلفة التركيب الجيولوجى وليس على الحافات المركبة الصدعية . فكل من كلايتون *K. M. Clayton* فى عام ١٩٥٠ ولويس *G. M. Lewis* عام ١٩٥٤ ، اعتبروا أن الحافات السلمية على السفوح الجنوبية الشرقية لجبال البنين بانجلترا والتى تتكون من طبقتين من صخور صلبة تفصل بينهما طبقة من صخور لينة حافات مركبة .

وقد ميز كوتون عام ١٩٥٠ بين كل من الحافات الصدعية وحافات أسطح الصدوع وعلاقتهما بالحافات المركبة فى أقاليم مختلفة من نيوزيلند . وقد رجح كوتون أنه من الأفضل استخدام تعبير «الحافات التكتونية» *Tectonic Scarps* لكى يرمز إلى الحافات الصدعية النشأة التى نجمت أساسا عن حدوث فعل التصدع ولم تتأثر كثيرا بفعل أنواع التعرية المختلفة . وأطلق تعبير الحافات غير التكتونية *Non-Tectonic Scarps* على أى حافات أخرى مثل تلك التى تتكون على أسطح الصدوع أو بجوارها وذلك لأن نشأتها لا ترجع إلى فعل التصدع نفسه ، ولكن ترجع إلى فعل عوامل التعرية التى تبعت عملية حدوث التصدع . وقد تتأثر هذه الحافات بالتركيب الصخرى وتتشكل تبعا لوقوعها بالقرب من أسطح الصدوع ، ولذا فقد يطلق عليها تعبير *Structural Scarps* ولكنها ليست بأى حال من الأحوال تكتونية الأصل *Initially Tectonic Scarps* كما هو الحال بالنسبة للحافات الصدعية النشأة .

وأخيرا يمكن القول بأنه ليست كل الحافات الصخرية المتصلة بعمليات حدوث التصدع قد تميز إلى المجموعات الثلاث السابقة الذكر «حافات صدعية *Fault Scarps* وحافات أسطح الصدوع *Fault - line Scarps* وحافات صدعية مركبة *Composite Scarps*» بل رجح الأستاذ دوجلاس جونسون *D. Johnson* كذلك مجموعة رابعة من الحافات الصدعية أطلق عليها الحافات الصدعية المنبعثة وحافات أسطح الصدوع المنبعثة *Resurrected Fault Scarps and Resurrected Fault-line Scarps* ويقصد بهذا النوع الأخير من الحافات تلك التى كانت فى الأصل حافات صدعية أو حافات واقعة على أسطح الصدوع أو بجوارها ثم غطيت هذه الحافات بالمفتتات الصخرية التى دفنت معالمها تماما ، وقد تتركب هذه المفتتات الصخرية من رواسب نهرية أو بركانية أو جليدية ، أو مفتتات صخرية تبعا لتفتت الصخور العلوية على أسطح الصدوع بفعل التعرية . وإذا ما أدركنا تحديد معنى الحافات الصدعية ، فإن هذه الحافات مازالت تدخل ضمن مجموعة الحافات الصدعية كذلك ، إلا أنها مدفونة *Buried or exhumed* أسفل الغطاءات والفرشات الإرسابية . وقد

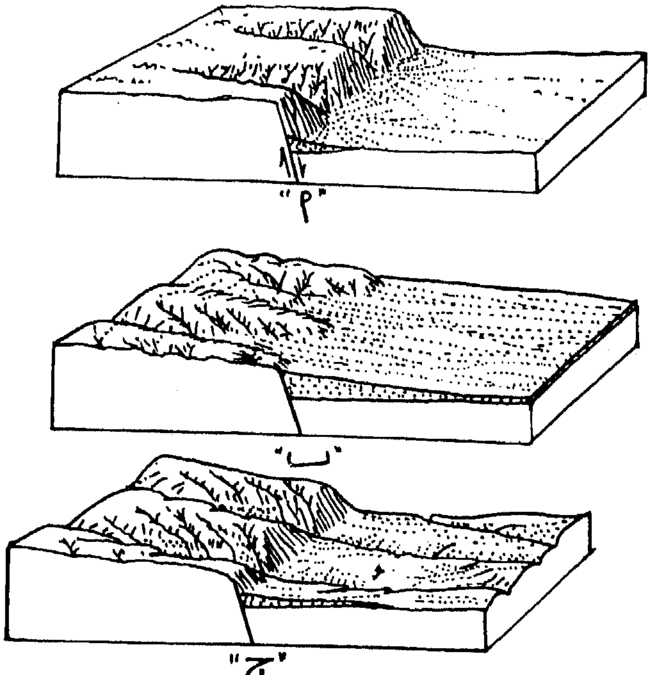
تتوقف عملية الإرساب لفترة ما ثم يتبعها مرحلة تزداد فيها عمليات التعرية المختلفة التى قد تعمل بدورها على ازالة غطاءات الرواسب المختلفة وبعد ذلك تظهر الحافات الصدعية وتنبعث من جديد .

وقد أكد الأستاذ هنرى بوليج *H. Baulig* عام ١٩٢٨ وجود مثل هذه الحافات فى إقليم «كيلرمونت - فراند» بهضبة فرنسا الوسطى . فقد ذكر بوليج أن الأدلة الجيومورفولوجية المختلفة أوضحت أن الحافات الصدعية *Fault scarps* فى هذا الإقليم قد دفنت وغطت بطبقات سميكة من الرواسب الطينية ، ثم تعرضت المنطقة لفعل الثورانات البركانية فى منطقة أوفيرن *Auvergne volcanoes* ساعدت هى الأخرى على تغطية الحواف الصدعية القديمة . وبعد هذه المرحلة توقفت عملية الإرساب وخمدت الثورانات البركانية وتعرضت الغطاءات الإرسابية لفعل التعرية بحيث أزيلت تماما وانبعثت الحافات الصدعية فوق السطح من جديد . وجدير بالذكر أن تحديد هذا النوع من الحافات وتميزها فى الحقل ليس عملية سهلة على الاطلاق ولكن يمكن ادراكها بعد دراسة كل من التطور الجيولوجى والجيومورفولوجى للمنطقة مع العناية بدراسة توزيع الرواسب المختلفة فى أجزاء الإقليم المقصود بالدراسة (شكل ٤٤) .

الخصائص الجيومورفولوجية لكل من الحافات الصدعية وحافات أسطح الصدوع

يتضح مما سبق أن حدوث عمليات التصدع تسبق تكوين أى من أنواع الحافات الصخرية الصدعية وقبل أن نتحدث عن الخصائص الجيومورفولوجية لكل من هذه الحافات يجدر أن نوضح الظواهر المختلفة التى يمكن أن نستدل بواسطتها على تكوين الصدوع نفسها فى الحقل ، ويتلخص ذلك فيما يلى :

١ - مشاهدة أسطح الصدوع ان وجدت على سطح الأرض (لوحة ١٣) .



(شكل ٤٤) تطور تكوين الحافات الصدعية المنبعثة التى تشكلت بالفرشات الارسابية

(لوحة ١٣) حافة صدعية (انكسارية) فى منطقة تنابو ـ ولاية نيفادا

٢ - تكوين تجمعات من الصخور المسحوقة أو المصقولة ، وصفائح من البريشيا المفتتة *Faulted breccia or Cushed zones* تبعا لعمليات احتكاك وزحزحة الصخور على نطاق أسطح الصدوع (لوحة ١٤) .

٣ - تميل الطبقات الصخرية إلى التخانة وتكون أكبر سمكا *Slickensiding* عندما تتقاطع بواسطة أسطح الصدوع .

٤ - قد تلاحظ على طول أسطح الصدوع مناطق صخرية مفتتة ومقطعة تقطيعا شديدا بفعل الشقوق والفواصل .

٥ - الاختلاف فى الترتيب الطبقى العام للمنطقة ، وقد يكون هذا الاختلاف رأسياً أو أفقياً أو مائلا لاتجاه أسطح الصدوع .

وقد حاول الأستاذ هنرى بوليج فى دراسته لإقليم كليرمون - فيران *Clermont-Ferrand* فى هضبة فرنسا الوسطى أن يميز الظاهرات الجيومورفولوجية التى تشكل كل من الحافات الصدعية وحافات أسطح الصدوع . وذكر بوليج أنه من الصعب تمييز الحافات الصدعية إذا كانت الصخور متجانسة وغير أفقية ومتشابهة فى تركيبها الصخرى . ولكن مع ذلك



(لوحة ١٤) حافة صدعية (انكسارية) يتضح على أسطحها أثر انصقال الصخر بفعل التصدع - فى ناتال - جنوب أفريقيا

فقد أوضح بوليج أن أهم الظواهر التى شاهدها فى الحقل ممثلة فى الحافات الصدعية فى هضبة فرنسا الوسطى تتمثل فيما يلى :

١ - تكوين الحافات الصخرية على شكل حوائط موضعية أو على شكل سد يظهر بارزاً فوق سطح الإقليم .

٢ - ملاحظة الصدوع الحدية أو الهامشية فى الإقليم *Marginal Faults* .

٣ - الإمتداد الطولى للحافات *Straightness of Scarps* واستقامتها لمسافات بعيدة تبعا لامتداد أسطح الصدوع نفسها ، بخلاف حافات الكوستات المقوسة الشكل .

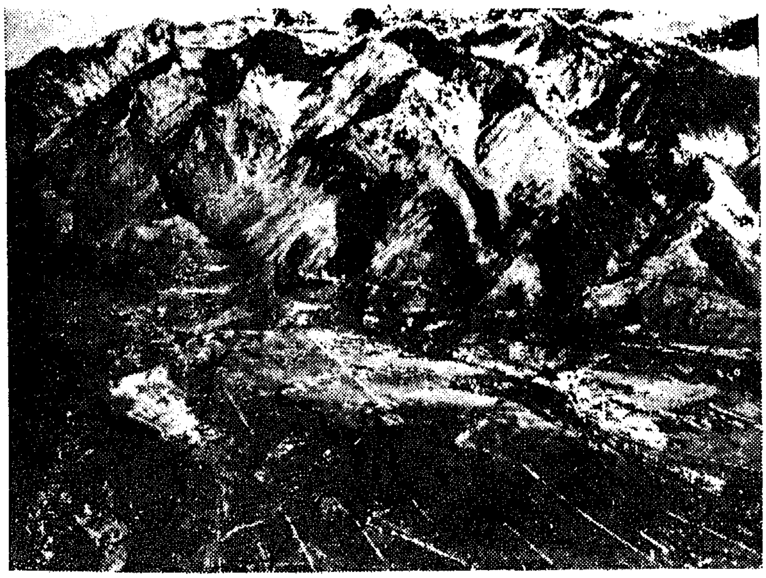
٤ - تكوين الخوانق النهرية الأخدودية العميقة على شكل حرف *(V)* تحت أقدام الحافات الصدعية . وقد تتكون مثل هذه الخوانق عند تكوين حافات الكوستات ، ولكنها أكثر حدوثا فى حالة الطبقات الصدعية النشأة .

٥ - زيادة انحدار المجرى النهرى الذى يقطع الحافات الصدعية زيادة فجائية وهذه تحدث أحيانا تبعا لحدوث عمليات التصدع . وإذا كان الوادى النهرى أخدودياً وعلى شكل حرف *(V)* وان مجراه شديد الانحدار عميق الجوانب وأن نهايته عند أقدام الحافة الصدعية على شكل مراوح فيضية ، فيطلق على واديه فى هذه الحالة تعبير الأودية الكأسية *Wine-glass Valley* (لوحة ١٥) .

٦ - تبعا لارتفاع الحافات الصخرية فجائياً بفعل رمى الصخور إلى أعلى قد تتكون فوقها أودية نهرية صغيرة معلقة *Hanging Valleys* وقد تتميز أقدامها بظهور الينابيع القوية .

٧ - قد تلاحظ بعض الفرشات والثورانات اللافية مصاحبة لبعض حركات التصدع وعلى الرغم من انبثاق اللافا قد لايحتم حدوث عمليات التصدع فى كل حالة غير أنه قد يدل أحياناً على خروج اللافا عن طريق أسطح الصدوع .

وقد أوضح هنرى بوليج كذلك أن وجود بعض أو كل من هذه الظواهر



(لوحة ١٥) حافات صدعية (انكسارية) وفى مرتفعات واساتش ، لاحظ تكوين الأوجه الصدعية المثلثة الشكل ، والأودية الخانقية الكأسية الشكل

السابقة الذكر يدل على أن عمليات التصدع حديثة العمر ، وان هناك ظواهر أخرى كذلك قد تشاهد فى مناطق الحافات التى تأثرت بالصدوع إلا أنها لا تدل على العمر النسبى لهذه الصدوع ومن هذه الظواهر :

١ - الانزلاقات الأرضية *Landslides* تحت أقدام الحافات .

٢ - تكوين المجارى النهرية المستقية الامتداد وشبه المتوازية والتى لا يرجع تكوينها إلى اختلاف التركيب الصخرى الذى تشقه الأنهار .

٣ - ظهور بعض المنعطفات الصدعية النهرية *Faulted meanders* على شكل زوايا قائمة بفعل حركات التصدع المختلفة .

وتجدر الاشارة إلى أن تأثر الإقليم بالصدوع قد لا يدل على أن كل الحافات الصخرية فى هذا الإقليم ترجع نشأتها إلى فعل حركات التصدع . وعلى ذلك فمن المهم إلى جانب ما ذكره الأستاذ هنرى بوليج عن الخصائص الجيومورفولوجية للحافات الصدعية فى إقليم كليرمون فران بهضبة فرنسا الوسطى - أن نشير إلى أهم الظواهر الجيومورفولوجية العامة التى يمكن

بواسطتها أن نميز بين كل من الحافات الصدعية *Fault Scarps* وحافات أسطح الصدوع *Fault - line- Scarps* .

أولا، الظواهر العامة التي تميز الحافات الصدعية

Fault Scarps

يمكن أن نلخص أهم الظواهر التى يمكن عن طريقها تمييز الحافات الصخرية الصدعية النشأة فى الحقل فيما يلى :

١ – إن عدم التناسق أو التوافق بين كل من التركيب الصخرى وظواهر سطح الأرض قد يكون مرجعه أحيانا فعل التصدع . فعندما تتركب الحافات الصخرية الصدعية التى رفعت إلى أعلى من صخور لينة نسبيا ، أو أن كلا من الصخور على جانبى الصدع مركبة من صخور متشابهة ومتجانسة فى تركيبها الجيولوجى ، فإن دل هذا على شئ فإنما يدل على أن هذه الحافات فى الصخور اللينة لا يمكن أن ترجع نشأتها إلى أثر فعل التعرية فى الأنواع المختلفة من الصخور بل ترجع إلى حدوث فعل التصدع .

٢ – تشكيل الإقليم بالظواهر الأخدودية *Rift-Features* التى تتمثل فى الحافات الصخرية المستقيمة الامتداد ، وشبه المتوازية والتى قد تنفصل فيما بينها بواسطة الأغوار الضحلة ، والتلال السيفية المشرشرة الشكل . ومن أجمل هذه الظواهر تلك التى تشكل إقليم سان أندريا الصدعى فى ولاية كاليفورنيا *San Andreas Rift of California* ، فكل هذه الظواهر تدل على تكوين الحافات الصخرية بفعل حدوث التصدع .

٣ – يتشكل التصريف النهرى فى أعالى الأودية النهرية بتكوين البحيرات خاصة تحت أقدام الحافات الصخرية ، وتتكون هذه البحيرات عندما تتلاقى بمجارى نهرية عرضية *Transverse Streams* ويدل وجودها على حداثة تأثير الحافات الصخرية بفعل التصدع .

٤ – تقطع الحافات الصخرية بفعل أودية نهرية عميقة تظهر على شكل أودية

معلقة ، ويلاحظ بأن هذه الأودية غالبا ما تكون ذات روافد شجرية الشكل تنبع من مناطق بعيدة عن الحافة الصدعية وعند جريانها فوقها تصبح هائلة العمق وتكون لنفسها جوانب نهرية عالية (تبعا لرفع الحافة الصدعية) وتنتهي مصبات هذه الأودية غالبا بالقاء حمولتها من الرواسب على شكل مراوح فيضية كبيرة الحجم . ومن ثم يطلق على هذه الأودية تعبير الأودية الكأسية *Wine glass valleys* .

٥ – تبعا لتقطع الحافات الصدعية بفعل المجارى النهرية العميقة الجوانب والأودية الكأسية المتعمقة ، تتقطع الحافة الصدعية وتصبح واجهتها مكونة من مجموعات من وجهات مثلثة الشكل *Traingular facets* ومقشوطة الجوانب ، وتعد هذه الظاهرة الأخيرة من بين أهم المميزات الجيومورفولوجية التى تميز الحافات الصدعية الحديثة النشأة .

٦ – تكوين أهرامات من الرواسب الدقيقة الحجم *Screes* ورواسب طميية مروحية *Alluvial fans* تحت أقدام الحافات الصخرية الصدعية تبعا لأثر انزلاق وزحف الصخور السفلية للتصدع من جهة وتعرية الحافات الصخرية فى الأجزاء العليا الضعيفة جيولوجيا لأسطح الصدع من جهة أخرى . وتنتشر مثل هذه الظواهر فى الأقاليم الجافة وشبه الجافة حيث تساعد ندرة سقوط الأمطار وعدم جريان الأنهار بجوار الحافات الصدعية على تراكم الرواسب والفرشات الحصوية .

٧ – حدوث الزلازل فى منطقة الحافات الصخرية العالية قد يدل على حداثة تكوين المنطقة جيولوجيا (تكتونيا) وان بعض هذه الحافات صدعة النشأة

٨ – تقسيم بعض بقايا السهول التحاتية وزحزحتها ، فإذا تبين للباحث أن بقايا سهل تحاتى ما يرجع تكوينه إلى الزمن الثالث ويشغل المناطق المرتفعة فى الإقليم ، قد وجدت بعض من بقاياه على كل من أعالى الحافات الصخرية من جهة وأسفل هذه الحافات فوق الطبقات السفلية للصدع من جهة أخرى ، فإن هذا يدل على أن هذه الحافات تكونت بفعل عمليات التصدع ، بل وأن هذه العمليات الأخيرة حدثت بعد تكوين

السهل التحاتى أى فيما بعد الزمن الثالث .

٩ - اختلاف مواقع الرواسب والفرشات البلايوستوسينية الحديثة بالنسبة لموقعها العام . وهذه تشابه الملاحظة السابقة الذكر ، ولكن فى هذه الحالة اذا حدث وتصادف وجود رواسب بلايوستوسينية أو حديثة فى غير مواقعها المألوفة فهذا يدل على أن حركات التصدع حديثة العمر جدا أى تكونت بعد عصر البلايوستوسين أو خلاله .

١٠ - تكوين ظاهرة «الفرشات» اللافية المتزحزحة *Louder back* وقد اقترح هذا التعبير الأستاذ وليم موريس دافيز عام ١٩٣٠ ليدل على الغطاءات اللافية التى انقسمت ثم تزحزحت رأسيا أو أفقيا بفعل التصدع . ومن ثم عند ملاحظة تكوين غطاءات لافية فى أعالى الحافات الصخرية ، ثم وجود بقاياها تحت أقدام هذه الحافات كذلك ، فهذا يدل على أن الحافات الصخرية تكونت تبعا لحدوث فعل التصدع الذى أدى بدوره إلى تقسيم الغطاءات اللافية وانفصالها .

«ثانيا» الظواهر العامة التي تميز حافات أسطح الصدوع

Fault - line Scarps

وتتلخص هذه الظواهر فيما يلى :

(أ) تكوين الحافات الصخرية فى المرمى السفلى على طول نطاق أسطح الصدوع وهذا يدل دلالة قاطعةً على أن مثل هذه الحافات نشأت بعد حدوث عملية التصدع نفسها ، وكما سبقت الاشارة من قبل فإنه يطلق على مثل هذه الحافات الصدعية تعبير *Obsquent Fault - line Scarps*

(ب) نشأة الأنهار المنطبعة *Superimposed Streams* على طول امتداد أسطح الصدوع قد يدل على أن الحافات التى ترتبط بهذا النوع من التصريف النهرى حافات نشأت تبعا لاختلاف التركيب الصخرى غيرأنها قد تأثرت بموقع الصدوع القريبة منها .

وفى الواقع أن تمييز حافات أسطح الصدوع تعد عملية صعبة فى الحقل ، بل ومن الصعب تحديدها إلا بعد دراسة الإقليم دراسة جيولوجية تفصيلية . وعلى الرغم من ذلك فيمكن أن نشير إلى بعض الحافات الصدعية وحافات أسطح الصدوع فى مناطق مختلفة على سطح الأرض . وعلى سبيل المثال تعتبر سلاسل وارنر الجبلية *Warner Range* فى شمال شرق كاليفورنيا والحافات الصخرية على طول الجانب الغربى لإقليم شوارزفيلد «الغابة السوداء» *Schwarz wald* وتلك على الجانب الشرقى لمرتفعات الفوج *Vosges mts.* على الجانب الغربى لنهر الراين كلها حواف صدعية النشأة . وقد رجح الباحثون كذلك أن الحافات الشرقية لمرتفعات سيرانيفادا *Sierra Nevada* ومرتفعات كاليفورنيا *California* والوجهات الغربية لكل من مرتفعات واسانش *Wasatch Mountains* ومرتفعات يوتاه *Utah* فى غرب الولايات المتحدة الأمريكية تعد حافات صدعية . وقد يكون بعض منها كذلك حافات صدعية مركبة .

أما الحافات التى يمكن أن نعتبرها حافات نشأت تبعا لاختلاف التكوين لصخرى وفعل عوامل التعرية فى طبقات صخرية تأثر موقعها ونظامها تبعا لحدوث حركات صدعية بجوارها ، فمن بين مجموعاتها معظم حافات وادى كونكتيكت Connecticut *Valley* الذى تتكون فيه حافات صخرية نشأت بجوار أسطح الصدوع الترياسية القديمة ، وتتمثل هذه الحافات فى مرتفعات توبى *Toby* ، وقمة توم *Tom* وقمة هاليوك *Holyoke* ويمكن اعتبار حافات رامابو *Ramapo* فى نيوجرسى *New Jersey* وحافة جراند واش *Grand wash Cliff* فى إقليم كلورادو حافات نشأت بجوار أسطح الصدوع .

ويطلق على الأقاليم التى تأثر نظام بنية صخورها من ناحية وظاهراتها الجيومورفولوجية من ناحية أخرى بفعل حدوث حركات التصدع الكبرى اسم أقاليم السلاسل والأحواض الصدعية الكبرى . وقد اشتقت هذه التسمية من الإقليم المعروف بهذا الاسم فى غرب الولايات المتحدة الأمريكية

"The Basin and Range Province of the Western United States"

ويحد من هذا الإقليم مرتفعات سيرا نيفادا غربا وهضبة كلورادو شرقاً ، ويتكون فيه أظهر أمثلة الحافات الصدعية فى العالم . وقد رجح الأستاذ جونسون *Johnson, 1929* بتسمية الكتل الصدعية فى هذا الإقليم باسم الكتل المرفوعة أو الكتل الشديدة الميل من جانب واحد *Tilted or Monoclinal Blocks* . وأول من اهتم بدراسة هذا الإقليم هو الأستاذ كينج *King 1870* الذى اعتقد أن مرتفعات هذا الإقليم عبارة عن بقايا ثنيات صخرية محدبة تعرضت مدة طويلة من الزمن لفعل التعرية النشيطة . ويعتبر الأستاذ جيلبرت *Glibert* (عام ١٨٧٤ و ١٨٧٥) أول من رجح أن هذه المرتفعات الغريبة الشكل هى نتاج حركات صدعية عنيفة . وقد عدل كل من باويل *Powell* وداتون *Dutton* أفكار جيلبرت واقترحا بأن هذه المرتفعات تعرضت لحركات صدعية قديمة العمر تبعتها مرحلة ازداد فيها فعل التعرية الهوائية والنهرية ونجم عن ذلك وتكوين السهول التحاتية . إلا أن الحركات الصدعية تجددت من جديد فى مرحلة حديثة تبعت تكوين السهول التحاتية ، ويرجع إلى هذه المرحلة الأخيرة ظهور الشكل الحالى للمنطقة بل ومعظم ظاهرات سطح الأرض فى الإقليم .

أما الأستاذ سبار *Spurr* فقد اعتقد أن مرتفعات هذا الجزء من الحوض العظيم هى نتاج التعرية النهرية فوق صخور تعرضت لفعل التصدع قديما . ولما كان الإقليم يتميز بالجفاف الشديد فى الوقت الحاضر . فقد رجح أن هذه التعرية كانت نشيطة خلال العصر الجوراسى عندما كان المناخ فى هذا الإقليم أعلى رطوبة منه الآن . وبالتالى تعتبر الحافات والكتل الصخرية فى الإقليم حافات نشأت بفعل عوامل التعرية وتأثرت بموقع الصدوع التى تمتد بجوارها

أما الأستاذ بيكر *Baker* عام ١٩١٣ ، فيعتبر أول الباحثين الذين رجحوا أن صدوع هذا الجزء من الحوض العظيم تنتمى إلى مجموعة الصدوع العكسية *Reverse Faults* وليست صدوعا عادية بسيطة *Normal Faults* . وقد

نتجت هذه الصدوع العكسية تبعا لعمليات الضغط الجانبى *Lateral Compression* وقد وافق على هذا الرأى الأستاذ سميت *Smith* عام ١٩٢٧ ، والأستاذ لاوسون عام ١٩٣٦ .

وعند دراسة الأستاذ لودربيك *Louderback* مرتفعات سيرا نيفادا الصدعية عام ١٩٢٣ أوضح نتائج أبحاثه فى النقاط التالية :

١ - ارتفعت جبال سيرانيفادا نحو ٥٠٠٠ قدم أو أكثر على طول سفوحها الشرقية أما سفوحها الغربية فقد ظل مستواها بالقرب من سطح البحر دون أن يطرأ عليه أى تغيير .

٢ - صاحب حركة الرفع التكتونية حدوث حركات صدعية خاصة على طول نطاق الحافات الشرقية .

٣ - حدثت عمليتا الرفع والتصدع خلال الزمن الثالث أو الزمن الرابع أو كليهما معا .

٤ - شكلت حركة التصدع معظم ظواهر السطح فى الإقليم غير أن بعض هذه الظواهر تشكلت بواسطة عوامل التعرية التى تبعت عمليات التصدع .

٥ - يمكن ملاحظة الصدوع فى الحقل على طول نطاق الحافات الشرقية لمرتفعات سيرا نيفادا فى جنوب غرب الحوض العظيم ، وذلك بتمييز الحافات الصدعية *Fault Scarps* ، والبريشيا الناتجة عن التصدع *Fault Breccia* ، والصخور المصقولة المسحوقة ، والأسطح المخططة *Striated Surfaces* .

٦ - تعتبر الأحواض والأودية إلى الشرق من سيرا نيفادا عبارة عن كتل صخرية صدعية هابطة ، وتعرضت بالتالى لعمليات الارساب .

وتؤكد هذه المشاهدات التى لخصها لودربيك على أن مظاهر السطح فى إقليم سيرا نيفادا فى الحوض العظيم غرب الولايات المتحدة الأمريكية هو كغيره من الأقاليم التى تتميز بظواهر الأحواض والسلاسل الصدعية *Basin and Range Topography* ناتجة مباشرة عن فعل حدوث عمليات

التصدع .

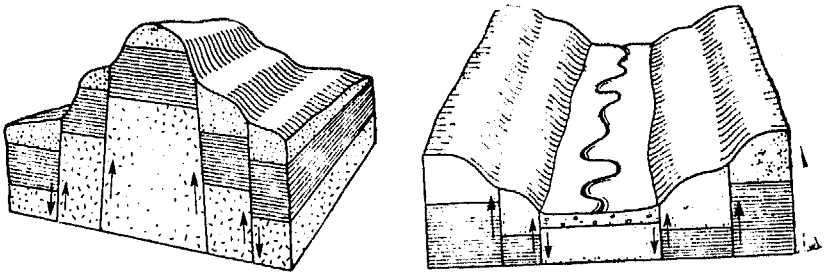
يتبين من هذا العرض أن الصدوع العادية البسيطة *Normal Faults* ينجم عنها ظاهرات جيومورفولوجية متنوعة ، ولكن تتنوع هذه الظاهرات الأخيرة كذلك تبعا لاختلاف نوع الصدوع أو أشكالها . وعلى ذلك سنشير إلى بعض الظاهرات الجيومورفولوجية التى تتكون عادة تبعا لفعل حركات التصدع التالية :

(أ) الصدوع المتوازية الأسطح *Parallel Faults* والتى تؤدى إلى تشكيل مناطق صدعية *Fault Zones* ، أهم ما يميزها هو تكوين الضهور الصدعية *Horsts* والأغوار الصدعية *Grabens* .

(ب) الصدوع الجانبية *Thrust Faults* وحدوث الزحزحة الجانبية للطبقات الصخرية .

أولا : الضهور الصدعية *Horsts* والأغوار الصدعية *Grabens*:

قد ترتفع كتل من سطح الأرض أو تنخفض دون أن تتغير درجة ميل الطبقات تبعا لحركات الرفع أو الخفض التى تساعد على رمى الطبقات الصخرية إلى أعلى أو إلى أسفل والتى تنجم عن حدوث صدعيين متوازيين . ويطلق على الكتل الصدعية المرفوعة البارزة اسم الضهور *Horsts* ، أما الأحواض الصدعية الهابطة اسم الأغوار *Grabens* (شكل ٤٥) . وأطلق الأستاذ جونسون *Johnson* على هاتين الظاهرتين عام ١٩٢٩ تعبير «الكتل الأخدودية *Rift Blocks*» ولكن يؤخذ على هذا التعبير أن كلمة أخدود *"Rift"* تطلق كذلك على الأخاديد الزلزالية *Earthquake Rifts* مثل تلك التى تصاحب الصدوع العرضية فى منطقة سان أندريا بكاليفورنيا . وقد أطلق جونسون على الضهور الصدعية اسم الكتل الأخدودية المرفوعة *Uplifterd Blocks or Rift Block Mountaians* وعلى الأغوار الصدعية اسم الكتل الأخدودية الهابطة *Lowered Blocks* .



(شكل ٤٥) الأغوار (الى اليمين) والضهور الصدعية (الى اليسار)

ولكن أصبح شائعا فى الوقت الحاضر استخدام تعبير الضهر الصدعى *Horst* وتعبير الغور الصدعى *Graben* لهاتين الظاهرتين على الترتيب .

ومن بين أحسن أمثلة الأغوار الصدعية الكبرى فى العالم «الأخدود الافريقى العظيم» خاصة فى شرق أفريقيا وحوض نهر الأردن والبحر الميت ، وكذلك حوض وادى ديث *Death Valley* فى أمريكا الشمالية ، وغور الراين الصدعى *The Rhine Graben* . ومن أظهر أمثلة الضهور الصدعية تلك التى تتمثل فى مرتفعات الفوج *Vosges* إلى الغرب من غور الراين الصدعى ، وهضبة شوارزفيلد (الغابة السوداء) *Schwarzwald* إلى الشرق من غور الراين الصدعى ، وكذلك هضبة فلسطين على الجانب الغربى لأخدود البحر الميت وهضبة الأردن على الجانب الشرقى منه .

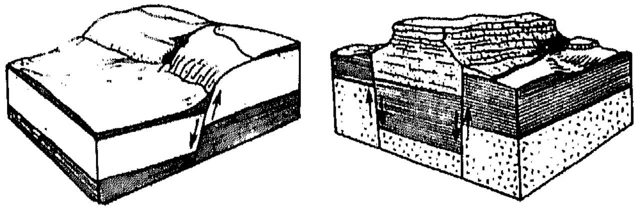
ودراسة الصدوع المختلفة وظواهر سطح الأرض الناجمة عنها مازالت فى الحقيقة تحتاج إلى مصطلحات علمية جديدة دقيقة المعنى . فمثلا أطلق الأستاذ جونسون تعبير «الوادى الأخدودى العظيم» *Great Rife Valley* على الغور الحوضى الإفريقى ، ويعترض بعض الكتاب على ذلك ، حيث إن تعبير «وادي» يجب أن يطلق على الأودية النهرية أو الجليدية وليس تلك الناشئة عن فعل حدوث حركات التصدع .

وجدير بالاشارة كذلك إلى أنه قد تتكون أحيانا ظاهرات (تشابه الضهور

الصدعية *Horsts*) بواسطة عوامل التعرية ، وليس نتيجة لفعل حركات التصدع . فمثلا إذا تعرضت ضهور صدعية النشأة لعوامل التعرية المختلفة وتلاشت هذه الكتل بالتدريج ، ثم انتابها بعد ذلك حركات رفع تكتونية ، فإن شكل السطح الناتج يشبه الضهور الصدعية . ويطلق على الكتل الصخرية المرفوعة فى هذه الحالة تعبير *Resequent Rift Block Mountains* والحواف الصخرية التى تحيط بها وتقع بجوارها تعبير *Resequent Fault-line Scarps* . أما فى حالة تعرض الأغوار الصدعية التى تحيط جانبيها طبقات صخرية علوية لينة مدة طويلة من الزمن لعوامل التعرية المختلفة ، فإن الطبقات الصخرية قد تتآكل بالتدريج وتظهر الكتل الصخرية السفلى الصلب فوق السطح المجاور بفعل عوامل التعرية المختلفة وليس بفعل التصدع . ويطلق على هذه الكتل العلوية اسم *Obsequent Rift-block Mountains* والحواف التى تحيط جانبيها اسم *Obesquent Fault - Scarps* .

وإذا كانت الضهور الصدعية تتكون من صخور لينة ، فسرعان ما تتعرض لفعل عوامل التعرية وتتآكل بالتدريج وتتكون الحافات العالية فى المناطق التى رميت إلى أسفل ، فى حين أن المناطق التى رميت إلى أعلى وكان ممثلا فيها حافات صدعية مرفوعة ، تصبح على شكل أحواض صدعية (شكل ٤٦ على اليمين) .

من هذا العرض يتضح أن كلا من الأودية والكتل الأخدودية الصدعية التى تشكلت بواسطة عوامل التعرية تتغير صورتها الأصلية وتعمل عوامل التعرية



(شكل ٤٦) الضهور الصدعية فى تكوينات صخرية لينة (على اليمين)
وتكوين المرواح الفيضية تحت أقدام الحافات الصدعية (على اليسار)

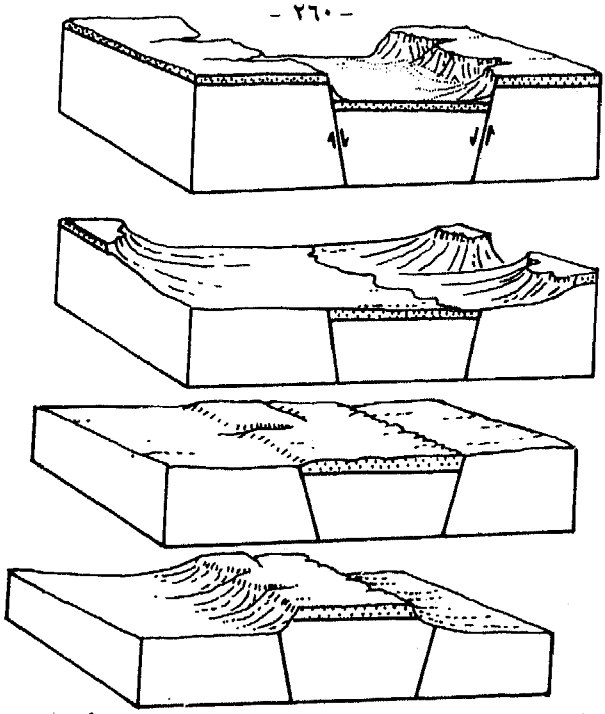
على تعديل المظهر الجيومورفولوجى للإقليم بحيث يصبح فى النهاية غير متوافق مع تركيبه الصخرى وتعرف هذه العملية باسم انقلاب السطح *Inversion of Relief* . ومن بين أجمل الأمثلة لتغيير مظهر السطح وأشكاله تبعا لتعرية كل من الضهور والأغوار الصدعية الكبرى ما يتمثل فى مرتفعات أواسط ولاية تكساس بأمريكا الشمالية (شكل ٤٧) .

ثانيا : الصدوع الجانبية والظاهرات الجيومورفولوجية التي تنجم عنها

يطلق على الكتل الصخرية التى تعرضت لفعل الصدوع الجانبية تعبير *Decken or Nappes* ويصاحب هذا النوع من الصدوع غالبا الثنيات المحدبة الملتوية المعكوسة أو النائمة المقلوبة *Recumbent or Inverted Folds* . وتبعا لاختلاف ترتيب نظام بينة الطبقات الناتج عن عمليات تغيير ميل الطبقات الصخرية وتعقد نظامها بهذا الشكل يتولد نوع من أشكال البنية الصخرية يطلق عليها اسم التركيب المتراكب *Imbricate Sturcture* .

وقد عملت حركات التصدع العنيفة فى بعض أجزاء كل من المرتفعات الألبية والأبلاش والروكى ومرتفعات شمال اسكتلندا على تكوين الصدوع الجانبية والتى ساعدت بدورها على تعديل نظام بنية الطبقات ، وغيرت بالتالى كل من التركيب الجيولوجى وظواهر سطح الأرض فى هذه الأقاليم الجبلية . ومن أظهر أمثلة هذا النوع من الصدوع ما يتمثل فى بعض أجزاء من مرتفعات الألب حيث وجدت طبقات صدعية انفصلت وتزحزحت عرضيا بزوايا بسيطة جدا ولكن لمسافات بعيدة ، نتج عنها تعقد التركيب الجيولوجى للمنطقة وأصبح رسم المنطقة جيولوجيا ومسحها من الأمور الصعبة جيولوجيا .

وقد درس الأستاذ بيلينج *Billing* صدع لويس الجانبى *The Lewis Overthrust Fault* فى ولاية مونتانا بأمريكا الشمالية ، وذكر أن طول سطح الصدع بلغ نحو ١٣٥ ميلا ، وتميل الطبقات الصخرية إلى الجنوب الغربى بنحو ٣ درجات . وبلغ متوسط بعد الزحزحة الجانبية للطبقات *Horizontal*



(شكل ٤٧) تطور مراحل انقلاب السطح فى مناطق الضهور والأغوار الصدعية

Displacment نحو ١٥ ميلا . ومن الأمثلة الواضحة لهذا النوع من الصدوع كذلك صدع بانوك *The Bannock Fault* فى جنوب ولاية ايداهو *Idaho* بأمريكا الشمالية ، ويبلغ طول سطح الصدع نحو ٢٧٠ ميلا ، أما الزحزحة العرضية للطبقات فبلغ متوسط طولها نحو ٣٥ ميلا . وكذلك صدع سان أندريا الصدعى العرضى فى جنوب غرب كاليفورنيا وصدع سان جاكينتو *San Jacinto* ، وسان جبرائيل *San Gabriel* . وقد أكد الأستاذ كرويل *Crowell* عام ١٩٥٢ أن الحركة أو الزحزحة على طول أسطح صدع سان جبرائيل الذى يواجه اتجاهه صدع سان أندريا بلغ طولها نحو ٩٠ ميلا ، وحدثت على طول مضرب الطبقات وأن مقدار الزحزحة الجانبية للصخور تتراوح بين ١٥ إلى ٢٥ ميلا . وقد استدل على ذلك من دراسته لاختلاف مواقع حدوث طبقات الكونجلومرات *Conglomerates* (صخور رملية حصوية خشنة الحبيبات ـ صخور المجمعات) وطبقات البريشيا *Breccia* الميوسينية على جانبى الصدع

وقد يصاحب الصدوع العرضية الكبرى فى المناطق الجبلية المرتفعة عادة حدوث انزلاقات أرضية عملاقة الحجم *Giant Landslides* ، كما يؤثر حدوث هذه الصدوع فى نظام الدورة التحاتية للمجارى النهرية وأشكالها وسرعة جريانها .

يتضح من هذا العرض أن حدوث حركات التصدع فى الطبقات الصخرية لا ينجم عنه فقط تعديل بنية الطبقات ، بل تؤدى هذه الحركات إلى تكوين ظاهرات جيومورفولوجية متنوعة وذلك تبعا لأشكال الصدوع وخصائص التركيب الصخرى . ومن ثم يمكن القول أن المناطق الصخرية التى تأثرت بحركات التصدع المختلفة تتشكل بظاهرات جيومورفولوجية تختلف تماما عن تلك فى المناطق التى لم تتأثر بمثل هذه الحركات التكتونية .

الفصل العاشر

بعض الظاهرات الجيومورفولوجية التي تتكون في المناطق البركانية

تحدث البراكين نتيجة للثورانات الباطنية التى تنجم عن الاختلافات الطبيعية والكيميائية ونشاط المواد المشعة فى باطن الأرض . وقد ينتج عند حدوث هذه الثورانات انبثاق المصهورات اللافية على سطح الأرض ، وتعرف فى هذه الحالة باسم مصهورات ولافا خارجية *Extrusion* ، وتظهر على شكل براكين وهضاب بركانية ، أو قد تنحبس داخل القشرة الأرضية ولا تؤثر مباشرة فى تشكيل مظهر سطح الأرض إلا بعد تآكل الطبقات الصخرية التى تقع فوقها وتعرف فى هذه الحالة باسم مصهورات ولافا داخلية *Intrusion* . وتتشكل من هذه المصهورات الأخيرة مجموعات من الظاهرات المختلفة منها القباب البركانية الكبرى ، والسدود الرأسية *Dykes* والعروق الأفقية *Sills* . وحدوث هذه الظاهرات بالقرب من سطح الأرض يؤثر بدوره فى التكوين الصخرى وتعديل نظام بنية الطبقات ، وهذه كلها عوامل مهمة تؤثر فى تحديد مجال فعل عوامل التعرية الأخرى وتشكيل الظاهرات الجيومورفولوجية لسطح الأرض (١) .

أولا : الثورانات البركانية الداخلية وأثرها في تشكيل سطح الأرض

على الرغم من حدوث هذا النوع من الثورانات فى باطن الأرض نفسها ، وتتداخل اللافا الناجمة عنها فى الطبقات الصخرية التى تكون القشرة الأرضية على شكل قباب أو سدود أو عروق بركانية إلا أنه تبعا لتآكل الطبقات الصخرية العليا بفعل عوامل التعرية المختلفة ، قد تظهر نتائج هذه الثورانات

---

(١) حسن أبو العينين «كوكب الأرض» . الطبعة العاشرة ـ الاسكندرية ١٩٨٨ .

على سطح الأرض وتؤثر بدورها فى تشكيل مظهره العام .

ويطلق تعبير سد رأسى *Dyke* على المصهورات البركانية التى تقطع الطبقات الصخرية رأسيا وتمزقها بالتالى إلى أجزاء مشطورة . وتعمل هذه السدود تبعا لشدة حرارتها على تحويل الصخور الملاصقة لها إلى صخور متحولة أى إلى حالة أخرى غير التى كانت عليها من قبل وذلك نتيجة للحرارة الشديدة التي تعرض لها الصخر . وتتوقف أشكال الظاهرات الجيومورفولوجية الناجمة عن السدود الرأسية فوق سطح الأرض على خصائص المادة التى تتركب منها السدود واختلاف مدى صلابتها بالنسبة للطبقات الصخرية الأخرى التى تجاورها . فإذا كانت السدود أشد صلابة من الصخور المجاورة لها ، فتعمل عوامل التعرية على نحت الصخور المجاورة وتآكلها بالتدريج ، بينما تبقى الصخور النارية فى السد على شكل حافة شديدة الصلابة قد تمتد أميالا بعيدة مع امتداد السد نفسه . وأحسن مثال لذلك هى السدود البركانية التى تمتد فى غرب اسكتلندا ، خاصة على طول الساحل الممتد فيما بين جزيرة سكاى *Sky* شمالا إلى جزيرة آران *Arran* جنوبا (شكل ٤٨) . أما إذا كانت المواد التى تتركب منها السدود أقل صلابة من

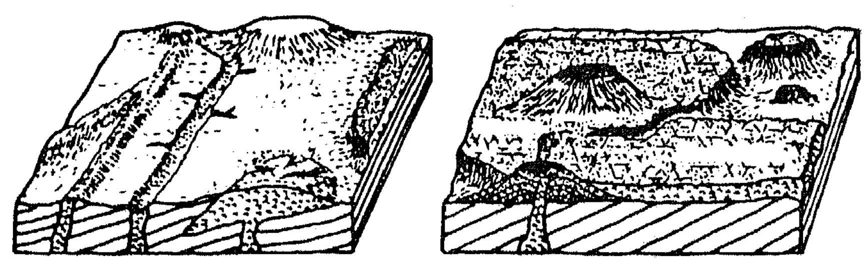


(شكل ٤٨) السدود الرأسية البركانية فى غرب اسكتلندا

الصخور التى تداخلت فيها ، فينجم عن فعل عوامل التعرية تآكل السدود البركانية وظهورها على شكل خندق أو وادى طولى يمتد مع امتداد السد البركانى نفسه خلال الطبقات الصخرية (شكل ٤٩) .

وإذا امتدت المصهورات اللافية على شكل غطاءات أفقية بين الطبقات الصخرية فيطلق عليها فى هذه الحالة اسم «العروق الأفقية» *Sills* . وعلى الرغم من اختلاف امتداد هذه الظاهرة الأخيرة إلا أن أثرها فى تشكيل الطبقات الصخرية وظاهرات سطح الأرض يشابه نفس الأثر الناتج عن حدوث السدود الرأسية السابقة الذكر . وعندما تظهر العروق الصخرية على السطح قد تعمل على تكوين مناطق هضبية مستوية تبعا للامتداد الأفقى للغطاءات ، أو قد تؤدى إلى تكوين حافات صخرية شديدة الانحدار تمتد على طول جوانب العروق البركانية . أما اذا كانت هذه العروق الأخيرة تتركب من طبقات لافية رقيقة السمك تنحصر بين طبقات صخرية أخرى مختلفة فقد ينجم عن هذا التركيب الصخرى تكوين المدرجات أو المصاطب الصخرية تبعا لاختلاف تآكل كل من هذه الصخور بفعل عوامل التعرية .

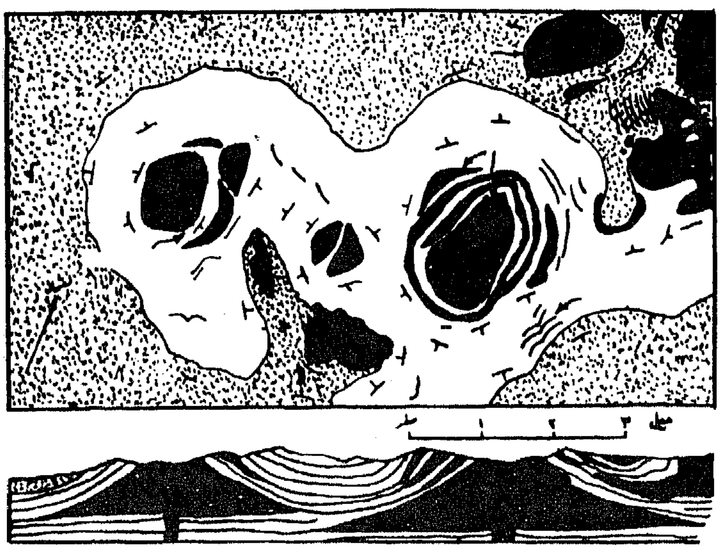
وعندما يزداد حجم المصهورات اللافية فى باطن القشرة الأرضية تتكون على شكل قباب هائلة الحجم يطلق عليها اسم الباثيلث *Bathyliths* وقد تبين



(شكل ٤٩) أثر تكوينات كل من السدود الرأسية البركانية والقباب البركانية فى تشكيل مظهر سطح الأرض

أن أغلب الكتل النارية المنصهرة تتكون من الجرانيت المنبثق من أعماق بعيدة فى باطن الأرض ، حتى يصعب أحيانا تحديد العمق الذى تنبثق من عنده هذه المصهورات . ومن أمثلة الكتل السدية البركانية الكبرى كتل ويكلو *Wicklow* والكتل السدية الجرانيتية الأخرى فى مرتفعات جوديث *Judith Mts* بولاية منتانا ، (شكل ٥٠) . ويرجع معظم الباحثين سبب ظهور الكتل السدية على شكل قبابى بين الطبقات الصخرية المختلفة ، إلى اندفاع الصخور والمصهورات البركانية إلى أعلى تحت الضغط والحرارة الشديدين ، وصهر الصخور الأخرى التى تصادف طريقها ، وبذا تكون النتيجة تكوين قبة بازلتية أو جرانيتية تخترق الصخور الأخرى وتمزق بنيتها . وقد يتكون على جوانب القبة الكبيرة أكوام قبابية صغيرة الحجم نسبيا وهذه يطلق عليها الباحثون اسم القباب الثانوية *Stocks or Bosses* .

وقد دلت الدراسات الجيولوجية على أن الثورانات البركانية الهائلة الحجم



(شكل ٥٠) الكتل القبابية البركانية الكبرى (الباثيلث ـ واللاكوليث)
فى جبال جوديث ـ بولاية مونتانا

كثيرا ما تصاحب حركات الرفع القوية التى ينجم عنها تكوين السلاسل الجبلية فى العالم . فقد صاحب الحركات التكتونية التى ترجع إلى ما قبل الكمبرى وحركات الكمبرى التى تعرف باسم الحركة التكتونية الكارنية *Charnian Orogenesis* والحركات التكتونية الكاليدونية ، والهرسينية ، والألبية ، حدوث الثورانات البركانيـة التى ساعدت بدورها على بناء جذور هذه السلاسل الجبلية . وعلى ذلك تضافرت كل من حركات الرفع التكتونية والثورانات البركانية فى بناء السلاسل الجبلية فى العالم كما هو الحال بالنسبة لسلاسل الألب والهيملايا والروكى والأنديز وكنتبريان وبريتانى ويتمثل فى المرتفعات الأخيرة بشمال غرب فرنسا أمثلة عديدة للكتل السدية التى يرجع نشأتها إلى الثورانات البركانية التى صاحبت الحركات التكتونية الهرسينية ، وتمتد هذه الكتل البركانية امتدادا عاما من الشرق إلى الغرب مع الامتداد العام للسلاسل الجبلية فى الإقليم .

وتظهر العلاقة بين الحركات التكتونية الكبرى وحدوث الكتل البركانية السدية واضحة فى حالة تكوين الكتل السدية القبابية الصخرية التى تعرف باسم الفاكوليت *Phacolites* واللاكوليت *Laccolites* . وعلى الرغم من أن حجم المواد المنصهرة التى تتألف منها هاتان الظاهرتان قد يكون محدوداً ، الا أن سمكها الظاهرى أو بمعنى آخر امتدادها فوق سطح الأرض قد يكون هائل المساحة بحيث أنه يمثل ظاهرة واضحة جدا على سطح الأرض . فمثلا تتكون الفاكوليت من طبقات رقيقة السمك تنحصر بين الطبقات الصخرية المنثنية المحدبة إلا أنها تظهر عل سطح الأرض على شكل قباب محدودة الارتفاع وواسعة الامتداد ، عندما تتآكل الطبقات الصخرية المنثنية التى كانت تقع فوقها (شكل ٥٠) . أما اللاكوليت فقد ينجم عنها تكوين مناطق حوضية على سطح الأرض .

وإذا ظهرت الطفوح البركانية على السطح متخذة شكل حلقات لافية تحصر بينها الصخور الأخرى ، فيطلق على هذه الظاهرة اسم اللابوليث *Lapoliths* .

ويتضح من دراسة القطاعات الجيولوجية لهذه الظاهرة أنها تظهر على شكل أطباق دائرية الحجم *Saucer-like* وتحصر فى أواسطها الطبقات الصخرية الأخرى . وأحسن أمثلة لها تلك التى تشكل منطقة البحيرات العظمى فى أمريكا الشمالية خاصة على الجانب الكندى من بحيرة أونتاريو .

ثانيا : البراكين والثورانات البركانية الخارجية وأثرها في تشكيل سطح الأرض :

قد تنبثق اللافا على سطح الأرض وينجم عنها فى هذه الحالة فرشات أو غطاءات واسعة الامتداد تظهر على شكل هضاب بركانية أو مخروطات لافية يطلق عليها اسم «البراكين» (١) . وقد حظت دراسة البراكين اهتماما كبيرا خاصة من دارسى الطبيعة الأرضية والجيولوجيا والجيومورفولوجيا . ولا يتوقف اهتمام هذه الأبحاث المختلفة على دراسة نشأة البراكين وأسباب حدوثها وأثرها فى تشكيل سطح الأرض ، ولكن دراسة ما تسببه من خراب ودمار فى المناطق التى تحدث فيها تبعا لانسياب المصهورات والطفوح اللافية وتغطيتها المناطق السهلية من الأراضى المجاورة لها .

وعلى الرغم من ذلك فإن التوزيع الحالى للبراكين فوق أجزاء سطح الأرض يكاد يكون محدودا فى قطاعات معينة ، كما أنها تتباعد عن بعضها البعض بمسافات بعيدة . ففى الولايات المتحدة الأمريكية مثلا يوجد بركان واحد نشيط وهو بركان لاسين بيك *Lassen Peak* فى شمال كاليفورنيا . إلا أن أكبر نطاق للبراكين هو ذلك النطاق الذى يعرف باسم «حلقة النار» *Ring of Fire* ، ويحيط بمعظم سواحل المحيط الهادى . (شكل ٥١) فتظهر براكين هذا النطاق فى أجزاء متفرقة من مرتفعات الانديز بأمريكا الجنوبية ومرتفعات أمريكا الوسطى ، والمكسيك (سيرا مادير الغربية) ، ومرتفعات

---

(١) فيما يتعلق بمورفولوجية البركان ، وعناصره ، وتصنيف أنواع المخروطات البركانية Volcanic cones وتصنيف أنواع الثورانات البركانية Volcanic eruptions راجع كتاب «كوكب الأرض» د. حسن أبو العينين - الطبعة العاشرة - الاسكندرية ١٩٨٨ .



(شكل ٥١) التوزيع الجغرافى للبراكين فى العالم

الكاسكيد فى غرب الولايات المتحدة الأمريكية ومرتفعات كولومبيا البريطانية وقوس جزر الوشيان شمالا ، أما على طول السواحل الشرقية لآسيا فتظهر براكين هذا النطاق فى كل من كمشتكا *Kamchatke* وسخالين وجزيرة كوريل *Kurile* وجزر اليابان . كما تظهر بعض البراكين كذلك فى أقواس الجزر المحيطية فى شرق وجنوب شرقى اسيا ، خاصة فى مجموعات جزر الفلبين وسليبيس ونيو غينيا *New Guinea* وسولومون ونيو كاليدونيا ثم فى جزر نيوزيلند .

إلى جانب توزيع البراكين فى هذا النطاق الرئيسى على سطح الكرة الأرضية ، تظهر البراكين كذلك فى مناطق أخرى متناثرة يمكن أن نوجزها فى الآتى :

١ - فى بعض الجزر المحيطية فى المحيط الهادى مثل جزر هاواى *Hawaiian Islands* وجزر جلاباجوس *Galapagos* وجزر جوان فرنانز *Jaun Fernandez* .

٢ - فى بعض الأقواس الجزرية فى المحيط الهندى حيث تظهر البراكين فى جزر تيمور *Timor* وجاوه *Java* ، وبالى *Bali* ، وسومطرة *Sumatra* .

٣ - فى نطاق ثانوى أقل أهمية يشمل الجزء الجنوبى من شبه الجزيرة

العربية وجزيرة مدغشقر وبراكين الأخدود الأفريقى العظيم

٤ - نطاق براكين حوض البحر المتوسط ، ويمتد هذا النطاق شرقا ليشمل براكين مرتفعات آرارات *Ararat* فى آسيا ، وغربا ليضم براكين كل من جرر آزورس *Azores* وكنارى *Canary* .

٥ - نطاق براكين بعض جرر البحر الكاريبى .

٦ - براكين جزر ايسلند .

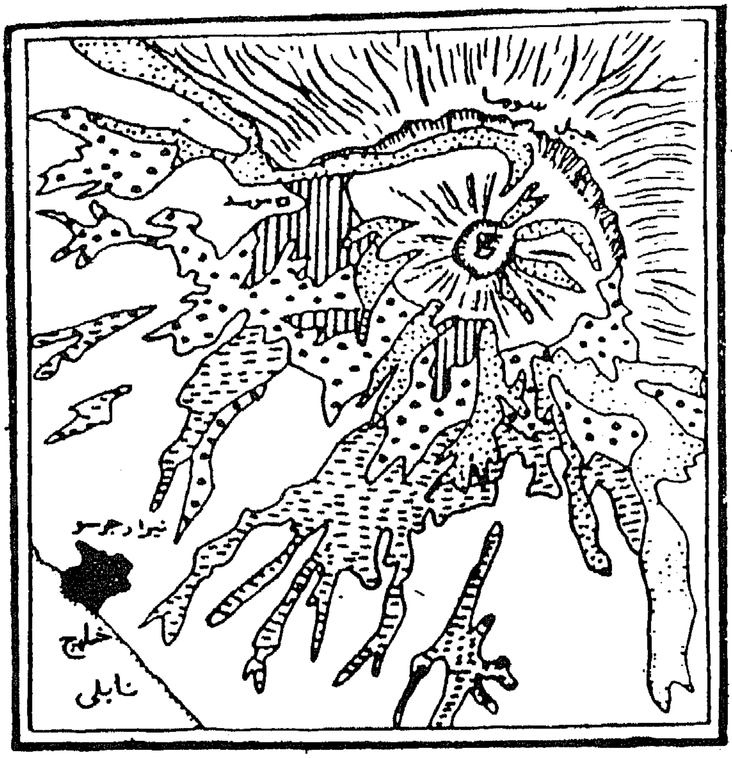
بالاضافة إلى هده المناطق السابقة التى تضم أساسا براكين نشطة ثائرة يمكن الإشارة كذلك إلى مناطق أخرى من القشر الأرضية تعرضت للثورانات البركانية القديمة ، وعملت على تشكيل المظاهر الجيومورفولوجية للسطح إلا أنها أصبحت فى الوقت الحاضر خامدة تبعا لهدوء النشاط البركانى فيها . ومن المناطق التى تتشكل ببراكين كبرى خامدة تتمثل فى براكين ولاية أريزونا ونيفادا ويوتاه بالولايات المتحدة الأمريكية ، وبعض براكين المكسيك - وبركان مونت بيليه فى جزر المارتنيك - أمريكا الوسطى - الذى انفجر ثورانه عام ١٩٠٢ (لوحة ١٦) وكذلك براكين إقليم أوفرن *Auvergne region* فى فرنسا ، وبراكين إقليم إيفل *Eifle* فى ألمانيا .

ويمكن القول بأنه يتمثل على سطح القشرة الأرضية فى الوقت الحاضر أكثر من ٥٢٠ بركانا نشيطا . ولكن تصنيف البراكين حسب التقسيم العام إلى ثلاث مجموعات تضم براكين نشيطة *Active* ، وهادئة *Dormant* وأخرى خامدة *Extinct* ، لا يعد تقسيما علميا دقيقا ، ذلك لأن بعضاً من البراكن الهادئــة أو الخامدة قد تتعرض لثورانات بركانية جديدة تجدد دورتها ونشاطها ، وتنبثق منها بذلك مصهورات بركانية ، ومن ثم تدخل من جديد ضمن مجموعة البراكين النشيطة . وعلى سبيل المثال اعتبر سكان مدينتى بومبى *Pempeii* وهاركلانيوم *Herculaneum* فى منطقة نابلى بايطاليا ، أن بركان سوما *Monte Somma* يعد بركانا خامدا وذلك حتى عام ٧٩ ميلاديا حيث هدأت الثورانات البركانية فى هذا البركان زهاء ٧٠٠ عام . ولكن فى



(لوحة ١٦) مخروط بركان مونت بيليه عند ثوراته فى عام ١٩٠٣

عام ٨٠ ميلاديا تجدد نشاط البركان وانبثقت اللوافظ والحمم والمصهورات البركانية معلنة تجديد نشاط البركان وميلاد بركان نشيط آخر هو بركان فيزوف *Vesuvius* ويوضح شكل (٥٢) اللافا الناتجة عن الثورانات البركانية المختلفة التى تعرض لها بركان فيزوف خلال فترات زمنية متعاقبة . وقبل الحديث عن بعض الظواهر الجيومورفولوجية التى تنتج عن فعل البراكين يحسن الإشارة إلى خصائص المواد التى تنبثق من البراكين وثوراتها .



(شكل ٥٢) تصنيف مصهورات ثورانات بركان فيزوف تبعا للفترات الزمنية التى انبثقت خلالها

أ- النقط المستديرة من عام ١٧٥٠ - ١٨٠٠ .

ب - الخطوط العرضية المتقطعة من عام ١٨٠٠ - ١٨٥٠ .

جـ - الخطوط الرأسية من عام ١٨٥٠ - ١٩٠٠ .

د - المناطق المنقطة من عام ١٩٠٠ - ١٩٥٠ .

المواد التي تنبثق من البراكين

تنبثق من البراكين مواد مختلفة ، بعضها يتألف من أجسام صلبة وأخرى من مواد سائلة وبعضها الآخر من غازات ، وتتلخص خصائص تلك المواد فى الآتى :

١ - المواد الصلبة : وتتألف من :

المقذوفات البركانية الحطامية *Pyroclasts*

فعندما تنبثق المصهورات اللافية عبر قصبة البركان تعمل على تحطيم صخور قشرة الأرض فى منطقة فوهة البركان وتتطاير بذلك المفتتات الصخرية المحطمة ـ بعد تشكيلها بالمواد اللافية ـ إلى أعلى وتتساقط على مسافات مختلفة من منطقة الفوهة تبعا لاختلاف حجمها وقوة الدفع التى تعرضت لها . ويطلق على هذه المواد الصخرية المفتتة والتى انغسلت وانغمست بمواد اللافا اسم المقذوفات الحطامية البركانية *Pyroclasts* . وتتألف المقذوفات الحطامية من المجموعات الآتية :

أ - مقذوفات حطامية بركانية خشنة الحبيبات :

ومن بينها القنابل البركانية *Volcanic Bombs* وكتل السكوريا *Scoria* ـ أى كتل اللافا المخرمة ذات الفقاقيع الغازية ـ وصخر الخفاف *Pumice* ، ومجمعات صخرية حطامية من الصخور الأصلية للمنطقة قبل ظهور فوهة البركان . (أو بعد أن ينخمد البركان وتنخمد اللافا فى الفوهة وعند ثورانه من جديد تتطاير القطع الصخرية المفتتة من اللافا القديمة المتجمدة) . وتتجمع المفتتات الصخرية بعد اختلاطها بمواد اللافا على شكل كتل تراكمية تعرف باسم البرشيا البركانية *Agglomerate or volcanic breccia* .

وتتألف القنابل البركانية أساسا من المواد اللافية عند تجمدها بالقرب من سطح الأرض ، وعندما تنبثق من فوهة البركان تتطاير فى الجو وتدور حول نفسها بشدة فى حركة محورية ومن ثم تكتسب الشكل البيضاوى أو الاهليلجى . أما إذا كانت مواد القنابل البركانية غير مرنة ، فإنه عند دورانها حول نفسها بشدة أثناء تطايرها فى الجو تتشقق أسطحها وتصبح على شكل «رغيف الخبز المحمر» ويطلق عليها عندئذ تعبير *Bread - Crust bombs* .

أما قطع صخر الخفاف فتتميز بأنها عالية المسامية نتيجة لانحباس كميات

كبيرة من الغازات فى مواد اللافا. ومن ثم فإن هذا الصخر قليل الوزن جدا ومنخفض الكثافة ويطفو على سطح الماء .

ب - مقذوفات حطامية بركانية دقيقة الحبيبات :

يتطاير من فوهة البركان أحيانا مقذوفات حطامية بركانية على شكل قطع صغيرة الحجم جدا ، ويظهر الكثير منها فى حجم حبة البازلاء وتعرف هذه المقذوفات الدقيقة الحجم باسم الجمرات أو الحصى البركانى *Lipilli* . وتبعا لدقة حجم هذه الحبيبات الصخرية فإنها تتطاير إلى أعلى لعدة مئات من الأمتار فوق فوهة البركان ، ومن ثم تتساقط بعيداً عن فوهة البركان بمسافات كبيرة جدا .

جـ - الرماد البركاني *Volcanic Ashes* **:**

عبارة عن مواد معدنية دقيقة أو مجهرية الحبيبات تخرج من فوهة البركان وتتطاير إلى أعلى لمسافات عالية جداً مندفعة مع الغازات . وتبعا لخفة وزن الرماد البركانى فإنه يظل معلقا فى الجو لمدة طويلة وينقل مع الرياح لمسافات بعيدة جدا . وعلى سبيل المثال استطاع رماد بركان كراكاتاو *Krakatao* أن يرتفع فى الجو لمسافات عالية وأن يدور حول الكرة الأرضية دورة كاملة قبل أن يتعرض للتساقط . كما شاهد الباحثون هبوط الرماد البركانى المنبعث من بركان فيزوف بعد احدى ثوراناته فى إيطاليا متساقطاً فوق مدينة استنبول بتركيا.

٣ - المواد المنصهرة السائلة : اللافا (١) *Lavas*

اللافا *Lavas* أو اللابا أو الحمم أو الطفوح البركانية هى عبارة عن

---

(١) يطلق بعض الكتاب على هذا التعبير اسم «اللابا» ولكن حيث استخدم تعبير «اللافا» فى الدراسات الجغرافية والجيولوجية وأصبح استخدامه شائعا لذا سيظل استخدامه فى دراستنا هذه .

المصهورات البركانية التى تنبثق من فوهات البراكين أو من الشقوق فى سطح الأرض وتنساب فوق هذا السطح مكونة المخروطات والهضاب البركانية . أما إذا انحبست هذه المصهورات البركانية داخل قشرة الأرض ولم تتعرض للبرودة السريعة فوق السطح فتعرف فى هذه الحالة باسم الماجما *Magma* .

وتختلف درجة حرارة اللافا عند سطح الأرض تبعا لخصائص تركيبها الكيميائى ونسبة الغازات الممثلة فيها . وتؤثر هذه العوامل الأخيرة كذلك فى مظهر اللافا ودرجة سيولتها وانسيابها . وتتراوح درجة حرارة اللافا من ٦٠٠° م إلى ١٢٠٠° م ، ويمكن القول بأن اللافا البازلتية القاعدية دائما أعلى حرارة من الأنواع الأخرى من اللافا عند ظهورها على سطح الأرض . وتتميز اللافا القاعدية بأنها عالية المرونة وترتفع فيها نسبة الغازات ومن ثم تصبح أكثر سيولة وتنساب من أعالى المخروط البركانى وتنحدر على جوانبه وتحت أقدامه لمسافات طويلة قبل أن تتعرض لعمليات البرودة والتجمد . أما اللافا الحمضية *Acid Lava* أى الغنية بالسليكات فتتميز بأنها أكثر تماسكا . ومن ثم تكون هذه اللافا قليلة السيولة وبطيئة الانسياب وتتراكم حول الفوهات والشقوق البركانية التى تنبثق منها ولا تبتعد ألسنتها وفرشاتها كثيرا عن هذه الفوهات . وتتراوح سرعة انسياب اللافا أثناء خروجها من فوهة البركان من ٣٠ إلى ٦٠ ميلا فى الساعة ، ولكن لا تزيد سرعتها فى معظم الأحيان عن ميل واحد فى الساعة .

ويختلف شكل سطح اللافا عن سطح المياه ، حيث يتشكل بظواهر مختلفة تبعا لتركيب اللافا الكيميائى وعمليات البرودة التى تتعرض لها . ويمكن أن نميز الأسطح التالية :

أ - أسطح اللافا التي تبدو علي شكل كتل *Block Lava* :

وتعرف فى هاواى باسم «آه آه» *Aa or Ah Ah* ، ويظهر هذا النمط فى اللافا شبه المتجمدة والتى تتسرب منها الغازات فجأة ، فعند انسياب اللافا فوق سطح الأرض تنفصل فرشاتها بعضها عن البعض الآخر ، وكل منها يبدو على

شكل كتل لافية مندمجة ومختلط فيها بعض المقذوفات الحطامية البركانية .

ب - أسطح اللافا الخيطية أو الجبلية *Roby Lava* :

وتعرف فى هاواى باسم «با هو هو» *Pa hoe hoe* ، ويتكون هذا الشكل من أسطح اللافا عندما تتميز الأخيرة بارتفاع درجة حرارتها وعند تسرب الغازات منها ببطء وفى هدوء . ومن ثم تتجمد أسطح اللافا وتتشكل بحذوذ عميقة ويصبح سطحها وكأنه مكون من عديد من الخيوط والحبال المتجاورة .

وإذا تكونت اللافا الخيطية فوق أرضية البحار والمحيطات فتساعد مياه البحر والضغط الواقع فوق اللافا على سرعة تجمدها وتجمع حبالها وخيوطها وكبسها واندماج بعضها بالبعض الآخر ، ويؤدى ذلك فى النهاية إلى تمييز سطح اللافا بشكل خاص يطلق عليه تعبير اللافا الوسادية *Pillow lava* . وقد تظهر هذه الأسطح اللافية على سطح الأرض إذا تعرضت أرضية البحار لحركات الرفع التكتونية كما حدث بالنسبة لمنطقة تايفاليش *Tayvallich* فى أرجيل شير *Argyllshire* فى ويلز .

وقد تظهر اللافا فى بعض الأحيان على شكل فرشات بازلتية كبيرة السمك فوق سطح الأرض ، وعندما تتعرض لعمليات التبريد والتجمد تتكون فيها كثير من الشقوق الرأسية والعرضية وتكتسب اللافا نتيجة لذلك الشكل العمدانى *Columnar Structure* .

٣ - الغازات البركانية :

ينبثق مع المصهورات البركانية الصلبة والسائلة كميات كبيرة من بخار الماء والغازات تقدر بنحو ٥٪ من جملة حجم المصهورات البركانية . كما تتراوح نسبة بخار الماء من ٦٠ إلي٩٠٪ من جملة الغازات التى تنبثق من الفوهات البركانية . وتمثل النسبة الباقية الأخرى مجموعة من الغازات أهمها ثانى أكسيد الكربون والنتروجين وغازات أحماض الايدروكلوريك والكبريتيك والنشادر . وتتراوح درجة حرارة تلك الغازات من فوهات البراكين أثناء

حدوث الثورات البركانية فقط ، بل قد ينبعث من البراكين الهادئة نسبياً كميات هائلة من الأبخرة والغازات دون أن يصاحبها انبثاق للمصهورات اللافية .

وتساعد الغازات الذائبة فى مواد الماجما على تقليل كثافتها وسهولة تحركها وانسيابها فوق سطح الأرض . وقد تبين أن مواد المصهورات البركانية التى لا تزال تحتوى على بعض الغازات فيها يمكن لها أن تنبثق من باطن الأرض وتنساب فوق سطح الأرض حتى إذا انخفضت درجة حرارتها إلى ٦٠٠° م . أما إذا تسربت الغازات من مواد المصهورات اللافية ، فيؤدى ذلك إلى شدة لزوجة اللافا وتماسكها وتكتلها وسرعان ما تتجمد بعد خروجها من الفوهات البركانية بأيام قليلة .

وينجم عن خروج الغازات والأبخرة من فوهات البراكين تكوين نطاقات هائلة الحجم من السحب المنخفضة الكثيفة ، وكثيرا ما تكون سوداء اللون تبعا لكثرة الرماد البركانى فيها ، ويظهر فيها كذلك ألسنة من النيران تبعا لاحتكاك ذرات الرماد بعضها ببعض ، ومن ثم تسمى أحيانا بالسحب البركانية المتوهجة ، وعندما تتعرض هذه السحب لعمليات التكاثف تسقط على شكل أمطار غزيرة وتؤدى إلى حدوث الانسيابات الطينية البركانية (لاهار *Lahar*.) وهذه الأخيرة قد تعمل على تدمير المناطق العمرانية التى كانت تقع بجوار البركان قبل ثورانه .

بعض الظاهرات الجيومورفولوجية الأخري التي تتكون بفعل البراكين :

١- رخات الرماد البركاني *Ash showers* **:**

من المقذوفات المهمة التى تنبثق من الفوهات البركانية خاصة تلك التابعة لمجموعتى فالكان وبيليه هو الرماد البركانى . وقد كان الرماد البركانى معروفا خلال العصور التاريخى الأولى فى حياة الانسان ، وأن مناطق واسعة الامتداد من سطح الأرض قد غطت بكميات كبيرة منه عند ثوران بعض

البراكين . وقد نتج عن ثوران بركان تاراويرا *Tarawera* في نيوزيلند في عام ١٨٨٦ تغطية المناطق المجاورة له بالرماد وبمقذوفات صخرية مفتتة ، شغلت منطقة واسعة من الأرض بلغ قطرها نحو ٣٠ ميلا . كما انبثق من ثوران بركان تامبورا *Tambora* في جزر الهند الشرقية زهاء ١٥٠ ميلا مكعبا من الصخور والمفتتات الصخرية والرماد . أما أشهر ثوران فهو ما حدث في بركان كراكاتاو *Krakatau* عام ١٨٨٣ حيث انبثق من البركان كميات هائلة الحجم من الرماد والمقذوفات الصخرية بلغ سمكها نحو ٢٠٠ قدما وشغلت منطقة واسعة من الأرض بلغ قطرها نحو ٢٠٠ ميلا .

ويؤثر اختلاف التكوين الجيولوجي للرماد والغبار البركاني في المظهر الجيومورفولوجي العام للإقليم الذى تتجمع فوقه هذه الرواسب فإذا تميزت رواسب الغبار بارتفاع مساميتها ، فقد يساعد ذلك على تسرب المياه السطحية في باطنها ، أما إذا تكون الغبار البركاني من ذرات دقيقة الحجم وتداخلت أى مواد أخرى فيها وعملت كمادة لاحمة لهذه الذرات ، فيبدو الغبار على شكل غطاءات إرسابية بركانية لزجة شبه صلصالية وغير مسامية . وتبعا لهذه الخصائص لا تتسرب المياه في جوفها وبذا تشكل التصريف النهرى بخصائص غير تلك في الحالة الأولى . كما قد تعمل هذه الرواسب كذلك على طمس بعض الظاهرات الجيومورفولوجية الثانوية لسطح الأرض ، وذلك بردم المنخفضات المقعرة وتسوية أراضى القباب المحدبة ومن ثم تبدو المنطقة على شكل سهول مستوية السطح تغطى المفتتات والرواسب البركانية سطحها الظاهرى .

وتتميز رخات الغبار البركاني عامة بكونها باردة ، إلا أن الغبار الذى صاحب السحب المتوهجة *Nuées Ardentes* لبركان بيليه عام ١٩٠٢ كان من السخونة لدرجة أنه أمكن له صهر قطع الزجاج التى تساقط عليها . وقد نتج عن رذاذ غبار بركان كتمائى *Katmai* في ألسكا عند ثورانه عام ١٩١٢ رذاذا بركانيا ساخنا . وقد أكد الأستاذ كوتون عند دراسته لبعض البراكين في

الجزيرة الشمالية من نيوزيلند عام ١٩٤٤ أن الغبار البركانى الساخن قد يؤدى إلى تكوين نوع من الصخور يعرف باسم *Ignimbrite* وذلك عندما يتعرض للبرودة بعد تساقطه على الأرض .

٢- انسياب الطين البركاني *Volcanic Mudflows* :

قد تنساب من أعالى المخروط البركانى كميات هائلة الحجم من الطين وتنحدر نحو أقدامه وإلى المناطق السهلية المجاورة . وحيث إن عملية انسياب الطين *Mud Flows* كثيرة الحدوث فى المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية خاصة عند حدوث السيول العنيفة ، لذا أطلق الأستاذ كوتون فى عام ١٩٤٤ ، تعبير «لاهار» *Lahars* على الطين البركانى الزاحف . وتساعد العوامل التالية على تكوين الطين البركانى الزاحف :

أ - سقوط أمطار غزيرة ابان تكوين السحب البركانية المتوهجة ، تساعد على ارساب كميات كبيرة من الرماد والغبار، وتبعا لامتزاجه بالمياه، فقد يؤدى إلى تكوين طبقات طينية على سطح الأرض.

ب - امتزاج رواسب السحب المتوهجة المنخفضة عند انحدارها من فوهة البركان نحو الأراضى السهلية المجاورة بأسطح المياه (مياه الأنهار والبحيرات ...) فى المنطقة .

جـ - تعرض مياه بحيرات فوهة البركان لفعل التبخر ، ثم امتلائها من جديد بالرماد .

٣- القباب اللافية المسدودة اللزجة *Plug Domes* :

عندما تتميز اللافا الاندسيتية والرايوليتية *Andesitic and Rhyolitic Lavas* بكونها شديدة اللزوجة ، فقد يصعب انسيابها أو زحفها نحو المنحدرات السفلى تحت أقدام المخروط البركانى ، بل ينجم عن شدة لزوجتها التصاقها بالأسطح المجاورة لفوهة البركان نفسه . وتبعا لتوالى انبثاق اللافا قد يزداد تراكمها حول الفوهة الرئيسية مكونة قبابا لافية اسطوانية الشكل تسد الفتحات الثانوية للمخروط البركانى . وإذا تصادف تكوين مثل هذه المواد اللافية

اللزجة فى شقوق تمتد أسفل طبقات صخرية ، فقد تعمل على حدوث حركات رفع فى الطبقات الصخرية التى تقع فوقها وبذا تظهر الأخيرة على شكل قباب صخرية . ويطلق على القباب البركانية الناتجة عن تجمع المصهورات اللافة المسدودة اللزجة اسم *Plug Domes* . وقد رجحت أسماء ثانوية أخرى بالاضافة إلى هذا التعبير العام لكى ترمز إلى الأشكال المختلفة التى تظهر عليها تلك القباب . فإذا كانت القباب تشبه شكل نبات المشروم (عش الغراب) فيطلق عليها تعبير قباب عش الغراب *Mushroom - like from, Cumulo domes or Tholoids*.

وتعد ظاهرة القباب اللافية المسدودة اللزجة واسعة الانتشار فى المناطق البركانية ومن بين أظهر أمثلتها قباب قمة لاسين البركانية *Lossen Peak* فى الولايات المتحدة الأمريكية وقباب مونو *Mono Craters* على السفوح الشرقية لمرتفعات سيرا نيفادا ، وبعض القباب اللافية التى تصاحب براكين الهضبة الوسطى فى فرنسا ، وقباب جزر بوجوسلوف *Bogoslof Ialnds* فى خليج ألسكا .

٤ - الأحواض البركانية أو الكالديرا *Calderas* :

يعترض تعبير «الأحواض البركانية» لكثير من النقد ذلك لأنه لا يفرق بين الأحواض التى تنشأ تبعا لعمليات ثوران أو انفجار البراكين *Volcanic explosion* وتلك التى تنجم عن عمليات الهبوط الأرضى . ولاتزال مشكلة نشأة الأحواض البركانية الكبرى التى تعرف باسم «الكالديرا *Caldera*» تمثل فى الوقت الحاضر أهم المشاكل الحديثة فى علم البراكين *Volcanology* . وقد بذل كل من الباحثين ويليامز *Williams* عام ١٩٤١ وجاكار *Jaggar* عام ١٩٤٧ ، جهدا كبيرا فى تصنيف الأحواض البركانية المختلفة . وقد ميز كل منهما ثلاث مجموعات رئيسة هى الفوهات البركانية ، والكالديرا والأحواض التكتونية ويمكن أن نلخص تصنيفهما عن الأشكال الأحواض البركانية فى البيان التالى :

(١) الفوهات البركانية :

أ - الفوهات التى تنجم عن ثورانات البراكين .

ب - الفوهات التى تنجم عن بناء جسور تراكمية حول مخرج القصبة الهوائية للبركان .

جـ - الفوهات التى تنجم عن عمليات الانهيار أو الهبوط .

(٢) الكالديرا : (الفوهات البركانية الكبيرة الحجم)

أ - الكالديرا التى تنجم عن ثورانات البراكين .

ب - الكالديرا التى تنجم عن عمليات الانهيار أو الهبوط .

جـ - الكالديرا المركبة النشأة .

(٣) الأحواض التكتونية البركانية :

ولم يظهر حتى الآن تقسيم جامع مانع يشمل كل أنواع الأحواض والفوهات البركانية بحيث يمكن أن يميز بين تلك التى تشابه كل منها من ناحية الشكل إلا أنها تختلف عنها من حيث النشأة . وقد أطلق بعض الكتاب تعبير «فوهات *Craters*» على كل الأحواض والمنخفضات مهما اختلفت أحجامها أو أشكالها أو تعددت نشأتها ، حتى شمل التعبير كذلك الأحواض الناشئة عن فعل سقوط بقايا الشهب والنيازك ، بل وتلك الناجمة عن فعل القنابل المتفجرة أو أعمال المناجم المختلفة . ولكن يرجح الكاتب أن تعبير «فوهة بركانية *Craters*» يحسن أن يرمز إلى الى الفوهات البركانية النشأة الصغيرة الحجم نسبيا ، أما تعبير كالديرا ، فمن الأفضل أن يطلق على الأحواض أو المنخفضات البركانية الواسعة الكبيرة الحجم ، وعلى ذلك فإن الفوهة البركانية عبارة عن انخفاض على شكل حوض عميق *Bowl-or Funnel-shaped Depression* من أصل بركانى ، ويظهر محيط الانخفاض على شكل دائرة يحيطها حواف حائطية شديدة الانحدار جدا فى الاتجاه المواجه لمركز الفوهة أما الكالديرا فهى تشبه فوهة البركان من ناحية الشكل

العام إلا أنها أكبر اتساعا وحجما ، وقد يزيد متوسط قطر الكالديرا عن خمسة أمثال متوسط قطر الفوهات البركانية العامة (شكل ٥٣) .

أما الأحواض التكتونية البركانية فيساعد على تكوينها تأثر الفوهات البركانية بكل من فعل التصدع والهبوط . وقد تؤدى الصدوع إلى تكوين خوانق عميقة على سفوح المخروط تعرف باسم *Sector grabens* . وقد رجح الأستاذ دالى *Daly* عام ١٩٣٣ ، ان نشأة هذه الخوانق العميقة يرجع إلى أثر فعل تصدع وانزلاق الكتل الصخرية إلى المرمى الأسفل لهذه الصدوع ، ثم انبثاق اللافا والحمم البركانية على طول أسطح الصدوع (١) . وقد أطلق «دالي» على مثل هذه الخنادق البركانية الصدعية اسم *Volcanic Rents* .

٥ - الهضاب والسهول البركانية *Volcanic Plateaus and Plains* :

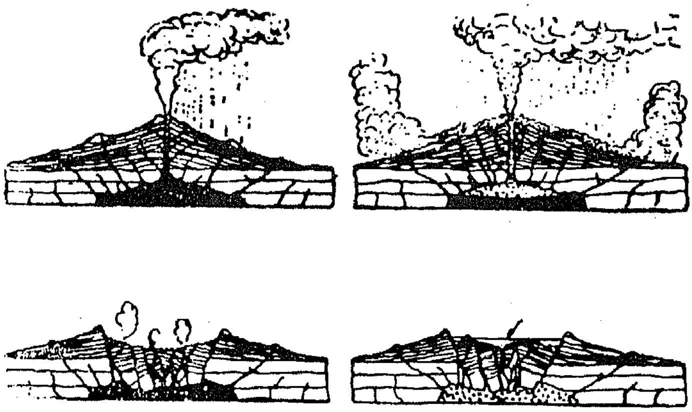
قد تظهر أحيانا فى بعض أجزاء من سطح الأرض فوهات بركانية صغيرة إلا أنها متعددة وتندفع منها اللافا بكميات كبيرة ، وتؤدى الأخيرة بدورها إلى بناء مناطق هضبية واسعة الامتداد . ويتميز سطح بعض هذه الهضاب كما هو الحال فى الهضاب البركانية فى حوضى نهر سنيك *Snake River* ونهر كولومبيا *Columbia* فى أمريكا الشمالية بإستوائه التام ، بحيث يمكن أن يطلق عليها كذلك سهول لافية *Lava Plains* . ومن بين أحسن أمثلة الهضاب البركانية فى العالم هى تلك التى تشغل أجزاء واسعة من حوض نهر كولومبيا فى شرق ولاية واشنطن *Washington* والهضاب البركانية فى كل من ولايات أورجون *Oregon* ، ونيفادا *Nevada* ،وايداهو *Idaho* ، وهضبة يلوستون *Yellowstone* فى ولاية وايومنج بأمريكا الشمالية ، وكذلك هضبة الدكن فى شبه القارة الهندية ، وهضبة دراكنزبرج *Drakensberg* فى جنوب

---

(١) راجع :

أ - حسن أبو العينين «كوكب الأرض» الطبعة العاشرة - مؤسسة الثقافة الجامعية - الاسكندرية - ١٩٨٨ .

ب - حسن أبو العينين «أصول الجيومورفولوجيا» الطبعة العاشرة - الاسكندرية ١٩٨٩ .



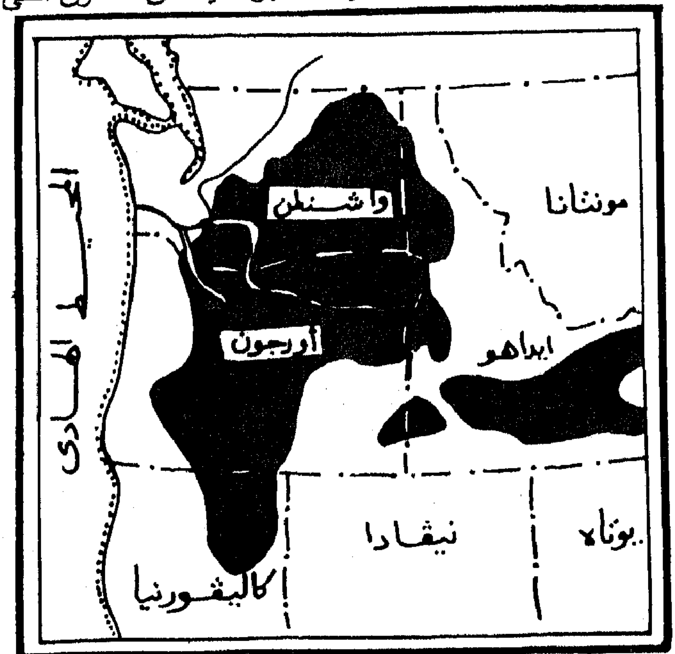
(شكل ٥٣) تطور تكوين الكالديرا (الفوهات البركانية الكبري)

أفريقيا ، وهضبة برانا *Parana* فى جنوب البرازيل ، والهضاب البركانية فى أورجواى والأرجنتين ، وهضبة أجنيمبريت فى أواسط الجزيرة الشمالية فى نيوزيلند . وتتآلف معظم هذه الهضاب البركانية من اللافا البازلتية *Basaltic Lava* إلا أن كلا من هضبة يلوستون واجنيمبريت تتركب من صخور الرايوليت *Rhyolites* .

وتعتبر الينابيع اللافية فى هضبة كولومبيا من أشد الينابيع ثوراناً فى العالم خلال العصور الجيولوجية المختلفة ، حيث غطت اللافا مساحة تزيد عن ٢٠٠,٠٠٠ ميل مربع ، كما تتركب من طبقات لافية تقع متعاقبة فوق بعضها البعض ويتروح سمكها من ٣٠٠٠ إلى ٤٠٠٠ قدم إلا أن سمك الطبقة اللافية الواحدة يبلغ فى المتوسط نحو ٢٠٠ قدماً . وتبعاً لشدة التعرية النهرية فى مجرى نهر سنيك فقد تمكن الأخير من تكوين أودية أخدودية عميقة جداً فى الطبقات اللافية بحيث أصبحت بعض أجزاء من واديه أشد عمقاً من أخدود كلورادو العظيم . ففى بعض أجزاء على طول أخدود وادى سنيك قطع النهر أخدوداً عميقاً يمتد لمسافة طولها نحو ٤٠ ميلاً ومتوسط عمقه نحو ٥٥٠٠ قدماً من سطح الأرض ، وتنبثق كميات هائلة من اللافا خلال الشقوق الكثيفة المتشابكة التى تقطع أرضية الوادى . وقد استطاع نهر سنيك فى بعض

الأجزاء الأخرى أن يشق خانقاً بلغ عمقه نحو ١٠٠٠ قدماً فى صخور الجرانيت التى تقع بدورها أسفل صخور البازلت . (شكل ٥٤)

وتعد السهول اللافية فى حوض نهر سنيك التى تشغل الجزء الجنوبى من ولاية ايداهو مكملة لنطاق هضبة كولومبيا البركانية ، على الرغم من أن الأولى أقل وعورة وتضرساً من هضبة كولومبيا ، كما أن اللافا البركانية البلايوسينية والبلايستوسينية التى تغطيها أحدث عمراً من اللافا البركانية الميوسينية التى تتألف منها هضبة كولومبيا . وتنتشر فوق سطح الهضبة الأخيرة بعض التلال الإنفرادية المنعزلة وتعرف بإسم *Steptoes* ، وقد جاءت هذه التسمية من التلال البركانية المعروفة بهذا الإسم والتى تقع فى شمال كولفاكس *Colfax* فى ولاية واشنطن . كما يتميز سطح هذه الهضبة كذلك بشكله القبابى المموج وذلك يرجع إلى إنتشار المخروطات البركانية الصغيرة من جهة والى إنبثاق الماجما والمقذوفات البركانية من الشقوق التى تظهر



(شكل ٥٤) الهضاب البركانية فى وادى نهر كولمبيا
شمال غرب الولايات المتحدة الأمريكية

على السطح من جهة أخرى . وقد ذكر الأستاذ ستيرن *Stearns* عام ١٩٣٦ أنه لاحظ أكثر من ١٠٠٠ ينبوع بركانى على طول جوانب أخدود وادى سنيك فى هضبة كولومبيا ، ويعزى مصدر مقذوفات هذه الينابيع إلى اللافا البازلتية المنصهرة الآتية من أعماق بعيدة عن سطح الأرض .

وقد دلت الدراسات التى أجريت فى الهضاب البركانية فى أجزاء متفرقة من العالم على أن نشأة هذه الهضاب ترجع إلى توالى إنبثاق المصهورات والمقذوفات والحمم البركانية خلال الشقوق وفتحات الفوالق *Fissure Eruption* . كما يعتقد العلماء كذلك أن عملية إنبثاق المقذوفات البركانية حدثت ببطء وبهدوء شديدين ذلك لأنه لم يعثر فى تكوينات الهضاب على أى مواد بيروكلاستية (حطامية) مختلطة مع البازلت . ومن ثم فإن هناك علاقة كبيرة بين إتجاه كل من المخروطات البركانية *Spatter & Cinder Cones* والشقوق والفوالق التى أثرت فى التركيب الچيولوچى للإقليم . وتظهر هذه العلاقة واضحة بجلاء ، عند دراسة إتجاه الشقوق والفوالق والقباب البركانية والبازلتية والغطاءات اللافية فى كل من الأخدود الأفريقى العظيم ، وغور الراين الصدعى *Rhine Graben* ومنطقة بييه البركانية *Puyes* فى هضبة فرنسا الوسطى .

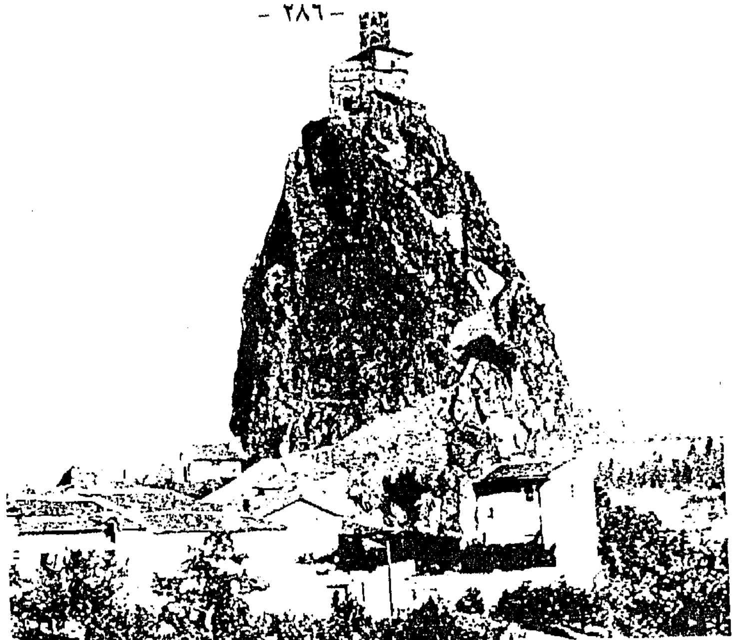
٦ - الهياكل البركانية *Volcanic Skeletons* :

عندما تتخمد الثورانات البركانية ، يظهر بوضوح آثار فعل عوامل التعرية المختلفة فى تشكيل المظهر العام للبركان . ومن هنا تبدأ مرحلة هدم المخروط البركانى . وإذا إستمرت عوامل التعرية فى نحت مخروط البركان لمدة طويلة من الزمن ، فقد ينجم عن هذه العملية تساقط جدران فوهة البركان إما فى باطن الفوهة نفسها أى فى غرف الصهير القديمة *Magma Chambers* أو تنزلق على السفوح الجانبية للمخروط البركانى تبعاً لإنحدار السطح وفعل الجاذبية الأرضية . ويعمل على تفتيت صخور البركان كل من فعل التجوية الميكانيكية وعوامل التعرية المختلفة الأخرى ، التى تنقل بدورها المفتتات

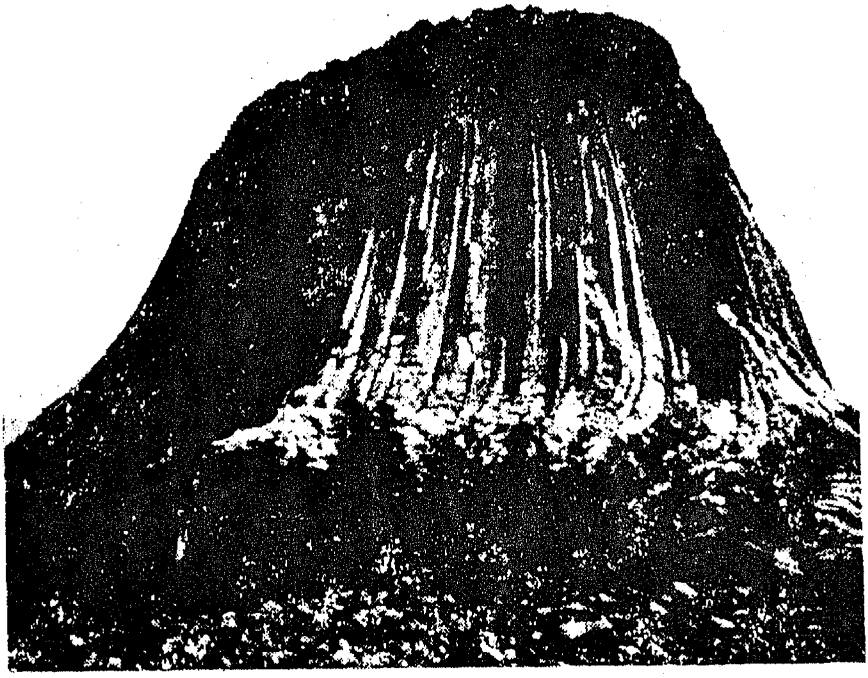
الصخرية إلى مناطق بعيدة عن موقع البركان نفسه . وتبعاً لتتابع عمليات التآكل والنحت فى المخروط البركانى فقد يتم إزالة أجزاء كبيرة فى غطاءاته اللافية بالتدريج ، ولا يتبقى منه فى النهاية سوى أعمدة رأسية بركانية تمثل قصبة البركان وتقف منعزلة فوق سطح الأراضى المجاورة ويطلق عليها إسم «الهياكل البركانية» ومن بين أظهر أمثلتها هيكل بركان شيبروك *Shiprock* فى المكسيك ، (لوحة ١٧) وهيكل سانت مايكل *Michel* فى هضبة بركان لوبيى *Le Puy* فى حوض اللوار الأعلى فى فرنسا . (لوحة ١٨) وبرج ديفل *The Devil's Tower* (أى برج الشيطان) (لوحة ١٩) فى ولاية وايومنج وكذلك بعض البراكين القديمة العمر فى ولايات أريزونا ومرتفعات كريزى *Crazy Mts* فى مونتانا بالولايات المتحدة الأمريكية .



(لوحة ١٧) هيكل بركان شيبروك فى المكسيك ، لاحظ أثر التعرية فى نحت المخروط البركانى ، وأثر السدود البركانية الرأسية المجاورة لموقع البركان فى تكوين حافات وحواجز بركانية فوق سطح الأرض



(لوحة ١٨) قصبة بركان لوبيبى فى حوض اللوار- فرنسا



(لوحة ١٩) هيكل بركان ديفل ولاية وايومنج ـ الولايات المتحدة الأمريكية ـ لاحظ تكوين الشقوق العمدانية وأثرها فى تشكيل جوانب الهيكل البركاني

الباب الثالث

فعل التجوية وتحرك المواد
وتشكيل منحدرات سطح الأرض

الفصل الحادي عشر

فعل التجوية

تتعرض كل أنواع الصخور المختلفة عندما تظهر على سطح الأرض لفعل التجوية *Weathering* التى ينجم عنها تكوين ظواهر جيومورفولوجية جديدة أو تعديل شكل ظواهر أخرى قديمة وذلك تبعا لاختلاف التكوين الصخرى وأنواع المعادن التى يتألف منها الصخر ومدى فعل التجوية وطول المدة أو الزمن الذى تعرض له الصخر لهذا الفعل . ولما كانت أسطح الطبقات الصخرية هى التى تتعرض مباشرة لفعل التجوية لذا فإن هذا الفعل يشتد فى الأجزاء الصخرية القريبة من السطح ويقل أثره كلما اتجهنا بعيدا عن السطح وتسهم المواد المفتتة بفعل التجوية فى تشكيل سطح الأرض بالرواسب السطحية وبالتربة . ويختلف سمك هذه المواد المفتتة وأشكالها تبعا لما يلى :

أ - مدى تأثر الصخور المفتتة بفعل عوامل التجوية .
ب - حجم المفتتات الصخرية وكيفية تحركها أو انزلاقها .
جـ - الخصائص الطبيعية للمفتتات الصخرية .

ومن النادر أن تظهر طبقات صخرية فوق سطح الأرض دون أن تغطيها فرشة من المفتتات الصخرية *Rock Mantle* التى هى نتاج عوامل التجوية المختلفة إلا فى أسطح الحافات الصخرية الشديدة الانحدار . وقد تكون هذه المفتتات موضعية *Residual or In Situ* أى تفتت وتحللت من نفس موضع الصخور السفلية المحلية ، ومن ثم فإن التركيب المعدنى لهذه المفتتات يشبه التكوين المعدنى للصخور السفلية الأصلية . وقد تكون المفتتات الصخرية منقولة أو غير محلية *Transported* بالنسبة للموقع الذى ترسبت فوقه وفى هذه الحالة تكون الرواسب قد تم نقلها عن طريق عوامل ما إلى منطقة جديدة غير تلك التى تحللت أو تفتت منها . وفى هذه الحالة يختلف التركيب

المعدنى للمفتتات الارسابية عن معادن التكوينات الصخرية الأصلية *Bedrock* .

ولا تستقر هذه المفتتات الارسابية فى موقع ثابت ، بل تتعرض دائما للحركة المستمرة بواسطة فعل كل من النقل *Transportation* والزحف *Creeping* والتساقط *Falling* والإنسياب *Flowing* أو الانزلاق *Sliding* . ومن ثم تتجه المفتتات الصخرية دائما نحو المنحدرات السفلية ويساعد حركتها وتدفقها العوامل التالية :

أ – زيادة الضغط الواقع فوق المفتتات الصخرية تبعا لتراكمها فوق بعضها البعض .

ب – ارتفاع نسبة الرطوبة فى الرواسب .

جـ – مدى فعل الجاذبية الأرضية .

د – درجة انحدار السطح وشكله .

هـ – اختلاف التركيب المعدنى للمواد التى تتألف منها المفتتات .

وفى ضوء هذه العوامل قد تكون حركة تدفق المفتتات الصخرية بطيئة وينجم عنها الظواهر الناتجة عن عمليات الزحف ، أو سريعة وتؤدى إلى تكوين ظاهرات جيومورفولوجية أخرى تنتج عن عمليات التساقط والانزلاق .

أنواع التجوية

تبعا لاختلاف الطرائق التى تتآكل بواسطتها الصخور عند تعرضها لفعل التجوية ، قسم معظم الباحثين فعل التجوية إلى قسمين رئيسيين هما :

أ – التجوية المكيانيكية *Machancial Weathering* .

ب – التجوية الكيميائية *Chemical Weathering* .

وتعمل التجوية المكيانيكية على تقسيم الصخر وتفتيته إلى مفتتات صغيرة الحجم دون أن تغير من تركيبه المعدنى ، فى حين أن التجوية الكيميائية تعمل على تحليل الصخر وتغييره كيميائيا . وعلى ذلك قد تؤدى التجوية

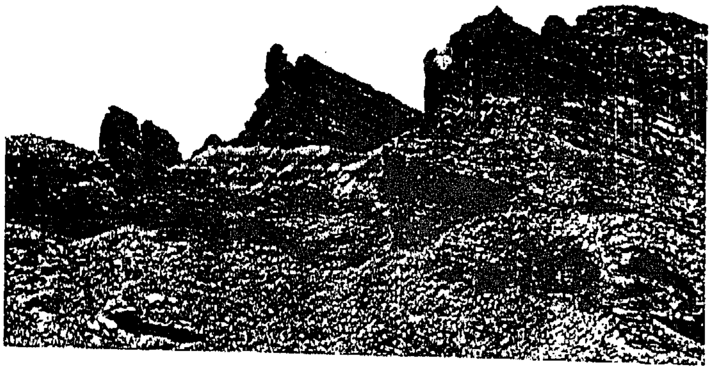
الكيميائية إلى تكوين مواد جديدة لم تكن موجودة فى الصخر من قبل ، ويمكن الاشارة الى نوع آخر من فعل التجوية ، يطلق عليه تعبير التجوية بفعل الكائنات الحية *Biological or Biotic Weathering* ، ويشمل ذلك أثر فعل النباتات *plants* والحيوانات *anmials* والبكتريا *bacteria* فى تفتيت الصخر ، هذا إلى جانب التجوية التى يقوم بها الانسان فى استغلاله لسطح الأرض *Anthropogentic Weathering* .

أولا : التجوية المكيانيكية

Mechanical Weathering

عندما تتعرض أسطح التكوينات الصخرية لفعل التجوية المكيانيكية أو الطبيعية تتفتت إلى جزيئات صغيرة وهذه بدورها تتجزأ إلى أقسام أصغر فأصغر بمرور الزمن ، إلى أن تصبح هذه المفتتات الارسابية يغلب عليها الأتربة والرمال الدقيقة الحجم . ويطلق على عملية التفتيت الطبيعى للصخور تعبير *Rock Breaking or Rock Disintegration, or Rock Fragmentation* .

وقد تتفتت الأسطح الظاهرة من الطبقات الصخرية على شكل وريقات صخرية رقيقة السمك وذلك تبعا لتعرضها لفعل التجوية الطبيعية ويشتد فعل التجوية فى مناطق الضعف الجيولوجية للصخر . وعند اتساع فتحات الشقوق الصخرية وأسطح الطبقات الورقية أو الصفائحية الشكل يتفتت الصخر طبيعيا وتعرف هذه العملية باسم «تصفيح الصخر» *Sheeting* . وفى بعض الحالات الأخرى قد تتعرض الأسطح العلوية لطبقات صخرية لفعل الانضغاط الشديد الذى يقع عليها من التكوينات التى تعلوها ، وعند ازالة هذه التكوينات يخف الضغط الذى كان واقعا على الأسطح العلوية للصخور وينتج عن ذلك اتساع الفتحات والفراغات الصخرية ، ويتعرض الصخر للتشقق ومن ثم يسهل تفتته بفعل التجوية الطبيعية (لوحة ٢٠ ولوحة ٢١) . وكثيرا ما تتعرض التكوينات الجرانيتية لفعل التجوية الناتجة عن ازاحة الضغط *Pressure release* الذى



(لوحة ٢٠) اتساع فتحات الشقوق الرأسية بفعل التجوية الطبيعية في الصخورالجيرية لجبل حفيت ـ جنوب مدينة العين ـ دولة الامارات ـ تصوير الباحث

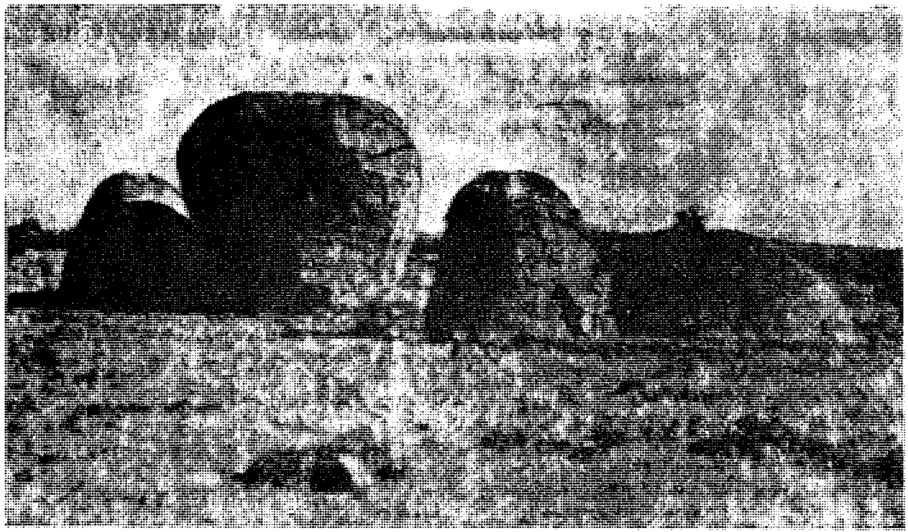


(لوحه ٢١) تكوين التلال الجيرية المنعزلة فى جبل حفيت ـ جنوب مدينة العين بعد ازالة التكوينات الصخرية المجاورة بفعل التجوية الطبيعية لاحظ اتساع فتحات الشقوق الرأسية ـ تصوير الباحث

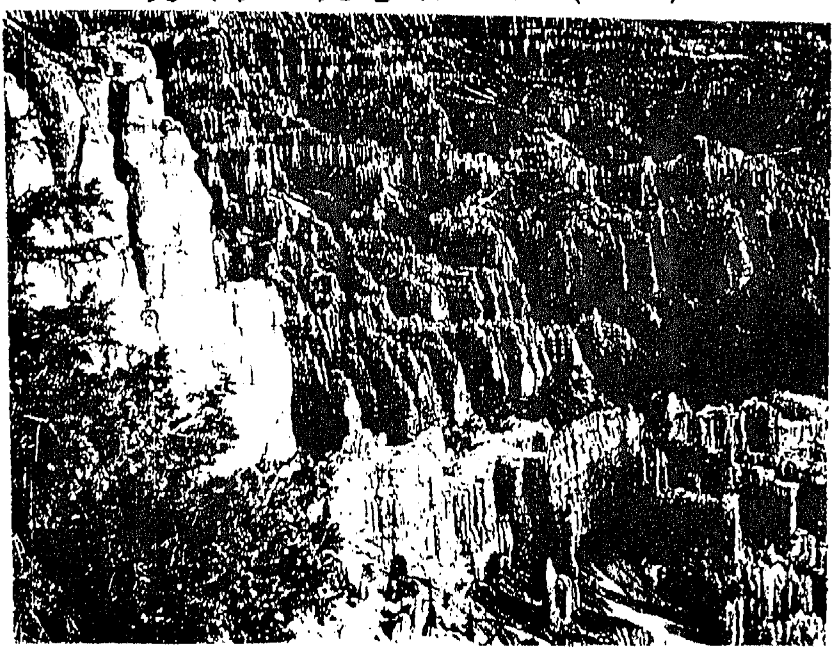
كان واقعا على التكوينات الصخرية من قبل *Unloading* . وينتج عن ذلك تفتت أسطح الصخور الجرانيتية وتكوين القباب الصخرية . وقد وصف الأستاذ برادلى *Bradley 1963* حدوث هذه العملية فى تكوينات الحجر الرملى بهضبة كلورادو ، وكانت الشقوق الصخرية الناتجة عن اثر ازاحة الثقل الصخرى ممثلة عند أعماق تبعد بنحو ٣٠ قدماً من سطح الأرض . ومن بين أمثلتها أيضا القباب الجرانيتية المنتشرة فى الولاية الشمالية من استراليا (لوحة ٢٢) .

وقد ينتج عن أثر الفعل المتباين أو غير المتساوى للتجوية الطبيعية *Differential Weathering* فى التكوينات الصخرية التى تكثر فيها الشقوق الرأسية *Vertical joints* تكوين أشكال مختلفة من الأعمدة الصخرية المختلفة الحجم والشكل *Columns and pillars* . وقد تكون بعض هذه الأعمدة الصخرية ملتصقة بالحافات الصخرية (لوحة ٢٣) نفسها وقد تكون بعضها الأخرى منفصلة عنها وتقع بجوار تلك الحافات ، كما قد تتكون مجموعات أخرى انفرادية عندها يشتد التراجع الخلفى للحافات الصخرية الضعيفة التكوين جيولوجيا ، ولا يتبقى على السطح من هذه الحافات سوى تلك الشواهد وقد تتخذ بعض الأعمدة شكل نبات عش الغراب وتعرف فى هذه الحالة باسم البدستال أو قواعد الأعمدة الصخرية *Pedestal rocks* ، فى حين أن بعضها الآخر قد يتألف من أعمدة ترابية *Earth pillars* أو أخرى غير متساوية الشكل أو الجوانب وتعرف باسم الصخور المنحوسة *Toadstool or Hoodoo rocks* .

وقد ناقش الأستاذ بريان *Bryan, 1925* أثر فعل الأمطار الساقطة فى تفتيت التكوينات اللينة من الصخر ، وبقاء الصخور الصلبة على شكل أعمدة عالية الارتفاع ، وتسهم الشقوق الطولية فى أشكالها . وفى بعض الأحيان قد تعمل العقد الصخرية الكبيرة الحجم الممثلة فى الصخور على حماية ما يقع تحتها من تكوينات صخرية لينة أمام فعل تساقط الأمطار . وعلى ذلك تتآكل



(لوحة ٢٢) القباب الجرانيتية فى الولاية الشمالية باستراليا



(لوحة ٢٣) أعمدة صخرية صحراوية في أخدود برييس
بولاية يوتاه ـ الولايات المتحدة الأمريكية

التكوينات الصخرية اللينة وتبقى تلك السفلية منها التى تحتمى بغطاء علوى من العقد الصخرية الصلبة ، وتظهر فى النهاية على شكل أعمدة ترابية ذات غطاءات أو أغطية صخرية علوية تحتل هامات كل عمود .

ومن بين العوامل الأخرى التى تساعد فعل التجوية تتلخص فى الآتى :

١ – تعرض أسطح الصخور لفعل التسخين والتبريد المتواليين *Heating and Cooling* فعندما تتعرض أسطح الصخور لحرارة مرتفعة شديدة تبعا لسقوط أشعة الشمس القوية عليها أثناء النهار مثلا ، ثم تتعرض للبرودة السريعة أثناء الليل (كما يحدث فى المناطق الصحراوية الحارة الجافة التى تتميز بارتفاع كل من المدى الحرارى اليومى والفصلى فيها) ينتج عن ذلك تكوين الفوالق والشقوق واتساع فتحاتها خاصة على طول الأجزاء الضعيفة جيولوجيا فى الصخر . وباستمرار حدوث هذه العملية يوما بعد يوم يتجزأ الصخر ويتفتت إلى مفتتات صغيرة . ويطلق على هذه العملية أحيانا تعبير التجوية بفعل الاشعاع الشمسى *Insolation Weathering* (لوحة ٢٤ ولوحة٢٥) .



(لوحة ٢٤) التجوية بفعل تأثير الاشعاع الشمسى ودورها
فى تفتيت الصخر بالقرب من منطقة الأهرام ـ مصر



(لوحة ٢٥) التجوية بفعل تأثير الاشعاع الشمسى ودورها فى تفتيت الصخر فى منطقة مسافى ـ دولة الامارات العربية المتحدة ـ تصوير الباحث

وقد يساعد هذه العملية سقوط أمطار غزيرة أو حدوث سيول تعمل هى الأخرى على تقسيم الصخر على طول الشقوق والمفاصل ، كما تنقل المفتتات الصخرية من المناطق التى اشتقت منها وارسالها فى مناطق أخرى قد تبعد عدة أميال عن المركز الأصلى للصخور . ونتيجة لتوالى حدوث فعل التسخين والتبريد على أسطح الصخر يتفتت الصخر على شكل قشور صخرية تتآكل من الصخر من أعلى إلى أسفل بالتدريج وتعرف هذه العملية باسم تقشير الصخر *Exfoliation* ، ويشتد أثر هذه العملية الأخيرة عندما يتميز مناخ المنطقة بارتفاع المدى الحرارى اليومى والفصلى (لوحة ٢٦) .



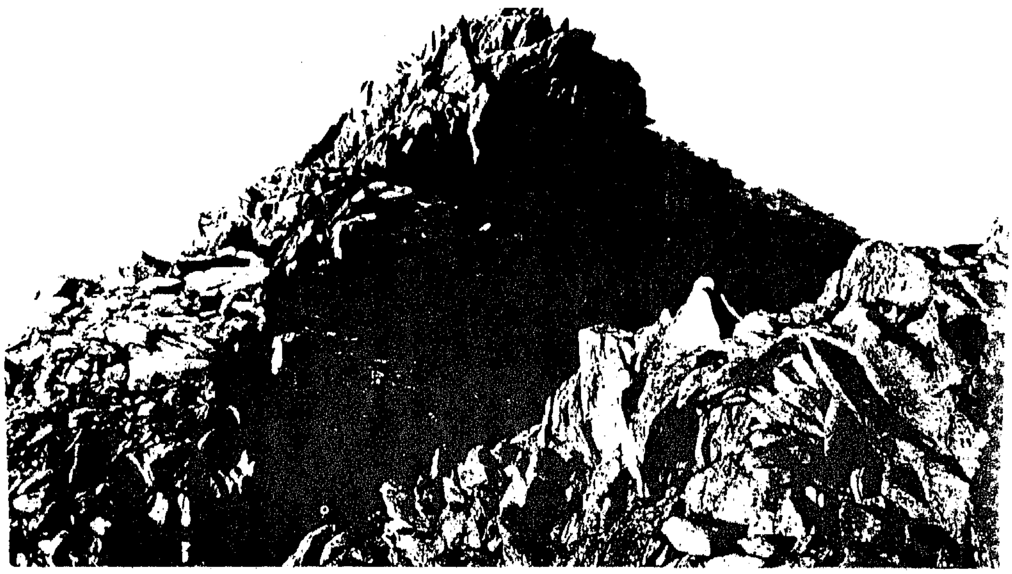
(لوحة ٢٦) تقشير الصخر ـ حديقة يوزميت الوطنية ـ كاليفورنيا

وعند حدوث عملية تقشير الصخر فى تكوينات صخرية كبيرة السمك قد ينتج عن ذلك تكوين صخور بيضاوية الشكل ، ضخمة الحجم يطلق عليها تعبير الصخور المستديرة *Felsenmeer* ، أو القباب البيضاوية الناتجة عن فعل تقشير الصخر *Exfoliation domes* ، ومن بين أمثلتها تلك التى تتكون فى المرتفعات الجبلية فى ولاية كارولينا الشمالية بالولايات المتحدة الأمريكية والقباب الجرانيتية فى جنوب غرب أفريقيا .

وقد أوضح الأستاذ بلاكفيلدر *Blackwelder* بأنه ليس من الضرورى أن ينتج عن عملية تقشير الصخر ، فى كل حالة ، ازالة أجزاء واسعة من أسطح التكوينات الصخرية العلوية ، أو تكوين قباب صخرية ، بل قد ينتج فى بعض الأحيان (بفعل تتابع اختلاف درجات الحرارة اليومية وأثرها فى تشكيل معادن الصخر) تفتيت بعض هذه المعادن وتكسرها فى حين قد لا يكون التغير الحرارى اليومى كافيا لتكسير بعض المعادن الأخرى الممثلة فى الصخر . ويؤدى اختلاف تأثر المعادن بفعل التغير الحرارى إلى حدوث ما أسماه بلاكفيلدر باسم التقشير المحبب للصخر *Granular exfoliation* حيث إن مكونات الصخر يصبح شكلها محببا بصورة عامة . ويشتد حدوث هذه العملية فى تكوينات الكوارتز بمرتفعات ولاية مونتانا بالولايات المتحدة الأمريكية .

٢ – تعرض الصخور لفعل البرودة الشديدة فى المناطق الباردة : خلال الفصل البارد فى مثل هذه المناطق قد تتجمد المياه داخل فتحات الشقوق والصدوع ، ونتيجة لزيادة حجم المياه (تبعا لتجمدها أثناء الليل) تضعف هذه العملية من تماسك جزيئات الصخر وتؤدى إلى حدوث الشقوق المتجاورة فى الصخر والتى تسهم فى تفتيته كما تعمل على اتساع فتحات الشقوق والصدوع القديمة التى كانت موجودة من قبل (لوحة ٢٧) .

ويطلق الباحثون على عملية تتابع فعل التجمد والانصهار فى الصخر تعبير *Freezing and Thawing Action or Frost action* ، ويعد هذا العامل من بين أهم العوامل التى تؤدى إلى تفتيت الحافات الصخرية فى المناطق



(لوحة ٢٧) تأثير تتابع فعل التجمد والانصهار فى تفتيت التكوينات الصخرية
منطقة تريفان ـ شمال ويلز

المعتدلة الباردة حاليا والتى كانت عرضة للبرودة الشديدة تبعا لقربها من موقع الركامات الجليدية فى عصر البلايوستوسين . ويطلق على هذه المناطق تعبير المناطق المجاورة للجليد أو «مناطق شبه جليدية *Periglacial Regions*» . وخلال الفصل البارد تتجمع الثلوج فى فتحات الشقوق والمفاصل الصخرية وتصبح التربة متجمدة كذلك ، ويتجمع الثلج فى المقعرات السطحية . أما فى خلال الفصل الدفئ القصير فتبدأ فيه تجمعات الثلج والانصهار التدريجى ، وينجم عن ذلك تكوين أنهار سطحية سريعة الجريان أو قد تنساب المياه على شكل مياه رقيقة السمك تنزلق من أسفل الثلج وتعرف باسم *Nivation processes* . ويعمل الثلج المتجمع فى الشقوق والمفاصل على اتساع الشقوق تدريجيا ، ثم اضعاف الصخر جيولوجيا ، وتفتيته . ويطلق على عملية تفتيت الصخر بواسطة فعل تجمد المياه فى الشقوق تحت هذه الظروف تعبير *Congelifration* أما زحف المفتتات الصخرية من أعالى الحافات إلى ما تحت أقدامها فأطلق عليها الأستاذ كيرك برايان *K. Bryan* عام ١٩٤٠ تعبير *Congeliturbation* وقد عملت هذه الرواسب والمفتتات الصخرية الأخيرة

Congeliturbate على تشكيل المظهر الجيومورفولوجى العام لمنحدرات سفوح هذه المناطق وذلك تبعا لامتلاء المقعرات السطحية بالرواسب وتسوية المظهر العام لسطح الأرض وتغطيته بهذه الفرشات الارسابية .

ويظهر أثر فعل تتابع التجمد والانصهار واضحاً فى تشكيل مورفولوجية الحافات الصخرية فى مقاطعة يوركشير على سفوح جبال البنين البريطانية وكذلك فى مرتفعات دار تمور (جنوب غرب انجلترا) . وقد نجم عن ذلك اتساع فتحات الشقوق الرأسية والعرضية فى الحافات الصخرية ، وتسهيل عمليات تساقط الصخر وانزلاق الصخور ، هذا إلى جانب تشكيل الحافات الجبلية المرتفعة بظواهر متنوعة من الشواهد الصخرية المتعزلة والمعروفة محليا باسم *Tors* (لوحة ٢٨) .



(لوحة ٢٨) أحد التلال المنعزلة Tor الذى يتكون بفعل تتابع حدوث التجمد والانصهار فى مرتفعات دار تمور ـ انجلترا

٣ - **التجوية الملحية** *Salt Weathering* :

لا يقصد بهذا التعبير حدوث التجوية الكيميائية نتيجة لتكوين الملح ولكن يقصد بذلك الفعل الطبيعي الناتج عن تكوين بلورات الملح داخل الشقوق الصخرية أو بالقرب من سطح الصخر . ففي بعض الأحيان قد تساعد ظروف التربة ومكوناتها والمياه الجوفية فيها على تجمع الأملاح على شكل بلورات ملحية فيها . وقد تساعد هذه الظروف على الزيادة المضطردة لنمو حجم تلك البلورات الملحية ومن ثم تؤدى إلى زيادة اتساع فتحات الشقوق الصخرية وتفتيت الصخر طبيعيا . وتحدث هذه العملية بدرجة كبيرة في التربات الملحية كما هو الحال بالنسبة لتربة سالونشاك *Solonchak soils* وفي المناطق شبه الصحراوية . وقد أكد الأستاذ أولير *Cliff Ollier, 1959, p. 13*(١) بأن البلورات الملحية تنتشر في تكوينات هضبة المعازة بالصحراء الشرقية في مصر حيث إن الصخور الجيرية هنا ، تحتوى على نسبة عالية من كلوريد الصوديوم وتبعا لحدوث السيول وبفعل الرطوبة في التربة تتكون بلورات الملح في الطبقة السطحية من الصخر الجيرى وتعمل على تفتيت الصخر . وقد شاهد الأستاذ هورست حاجيدورن *Hagedorn* (٢) الآثار الناتجة عن فعل التجوية الملحية في أعالي المرتفعات بمنطقة تبستي بالصحراء الكبرى ، وفي مرتفعات القسم الجنوبي من ليبيا . وأكد حاجيدورن بأن هذه العملية تختلف تماما عن عملية «التقشير الصخري» التي تحدث في الصخور في المناطق الصحراوية تبعا للتغير الحراري اليومي .

---

(1) Ollier, C., "Weathering", Edinburgh, 1969, p. 13.

(2) Hagedorn. H., "Observation on climatic geomorphology and Quarternary evolution of landforms in South Central Libya", Univ. Libya 1971, p. 383 - 400.

- Hagedorn H. Beobachtungen an inselbergen in westichen Tibesti - Vorland Berliner. Geog. Abhand. Helts, 1967, 17 - 22.

ثانيا : التجوية الكيميائية

Chemical Weathering

قد ينشط فعل التجوية الكيميائية فى الصخور تحت بعض الظروف وهذه تتوقف أساسا تبعا للعلاقة بين كل من الغلاف الجوى والتكوين الصخرى . وعند حدوث التجوية الكيميائية فإنها لا تؤدى فقط إلى تفتيت الصخر بل ينجم عنها كذلك تحليله وتحويل بعض من تكويناته المعدنية إلى معادن أخرى قد تكون مختلفة الشكل والتركيب عن حالتها الأصلية . وتعرف هذه العملية باسم «التحلل الصخري» *"Rock Decay or Rock Decomposition"* .

وتعمل غازات الغلاف الجوى على تحليل الصخر بواسطة التفاعل مع المعادن التى تدخل فى تركيبه خاصة على طول أسطح الصدوع وفتحات الشقوق الصخرية . وعلى الرغم من أن الغلاف الجوى يدخل فى تركيبه نسبة كبيرة من النيتروجين . الا أن هناك غازات أخرى قد تكون نسبة وجودها فى الجو بسيطة جداً ومع ذلك فتأثيرها الكيميائى فى الصخر يعد تأثيرا شديدا ، ومن بين هذه الغازات الاكسجين وثانى أكسيد الكربون وبخار الماء . وعندما يتفاعل الأكسجين مع الصخور فإنه يؤدى إلى أكسدة معادن الصخر *Oxidation* وتظهر الصخور غالبا باللون الأحمر دلالة على حدوث أكسدة المواد الحديدية فيها ، أما أثر فعل ثانى أكسيد الكربون وبخار الماء فى الصخور فيعرف باسم عملية التكرين *Carbonation* وعملية التميوء (التشبع المائي) *Hydration* على التوالى . كما قد يؤدى وجود الماء كذلك إلى اذابة بعض معادن الصخر مثل كربونات الكالسيوم مثلا ، التى تمثل نسبة كبيرة من تركيب الصخور الجيرية ، وتعرف هذه العملية الأخيرة باسم عملية الاذابة *Solution* .

ومن بين أظهر الأمثلة التى توضح فعل التجوية الكيميائية هى تلك التى تتمثل فى تشكيل الصخور الجرانيتية بهذه العوامل . فيتركب صخر الجرانيت من معادن أهمها الكوارتز *Quartz* ، والفلسبار بنوعيه «الفلسبار الارثوكلازى

والفلسبار البلاجيو *Orthoclases Feldspar* (سليكات الالومنيوم والبوتاسيوم) ، والفلسبار البلاجيو كلازى *Plagioclase Feldspar* (سليكات البوتاسيوم والصوديوم أو الكالسيوم) ، والبيوتيت *Biotite* والمسكوفيت *Muscovite* ونسب صغيرة من بعض المعادن الأخرى ومنها الزركون *Zircon* والابتيت *Apatite* ، وعلى ذلك يختلف تأثير فعل التجوية الكيميائية فى المعادن المكونة للجرانيت من معدن إلى آخر . فمثلا لا يتأثر معدن الكوارتز بفعل التجوية ويبقى كما هو دون أن يطــرأ عليه أى تغيير تبعا لشدة صلابته وعدم قابليته للتحلل أو الذوبان ، ويشابه الكوارتز كل من معدنى الزركون والمسكوفيت . بينما يعد الفلسبار الأرثوكلازى ، قابل للتحلل الكيميائى ، حيث يتكربن أو يتحلل إلى سليكا قابلة للذوبان وملح البوتاسيوم ، وقد تؤدى البقايا المتراكمة من السليكا إلى تكوين مادة الصلصال *Clay* أما الفلسبار البلاجيوكلازى فيتحلل عادة إلى صوديوم وأملاح الكالسيوم ويكون فى النهاية كذلك مادة الصلصال . ويتضح من هذا المثال أن عمليات التحلل الكيميائى قد يتولد عنها ظاهرات جديدة فى مواد الصخر ، وقد ينجم عنها كذلك تغيير الصخر وتشكيله بألوان جديدة . ولفعل التجوية الكيميائية دورها فى تحلل طبقات الجير وتكوين ظاهرات عديدة بها مثل الكهوف والحفر الصخرية .

وقد يؤثر كل من فعل التجوية الكيميائية والمكيانيكية مع بعضها البعض فى تحلل الصخر وتفتيته . فعلى السفوح الجنوبية الشرقية لجبال البنين البريطانية فوق أسطح الصخور المعروفة باسم ميللستون جريت (حجر رملى خشن الحبيبات) *Millstone Grit* والتى يرجع عمرها إلى العصر الكربونى الأعلى ، تعمل التجوية الكيميائية على تكوين حفر صخرية عميقة فى المناطق الضعيفة جيولوجيا وذلك باذابة معدن الفلسبار وتحلله . وبالتالى تفتح المجال لعمل التجوية المكيانيكية والتى تتمثل هنا أساسا فى أثر تتابع حدوث كل من التبلل والجفاف *Wetting and Drying* فى الصخور ، وتؤدى هذه العوامل بدورها إلى اضعاف الصخر جيولوجيا ، وتكوين حفر صخرية *Pot*

Holes قد يصل متوسط عمق الواحدة منها إلى نحو سبعة أقدام إلا أن قطرها لا يزيد عادة عن أربعة أقدام . وتملأ هذه الحفر بالمياه خلال سقوط الأمطار ، أما فى حالة الجفاف فإنها تتشكل بفعل الرياح . وتنقل الرمال الناعمة سواء أكانت مفتتة أو محللة إما مع المياه التى تنساب من الحفر بعد ملئها أو بواسطة الرياح فى حالة جفاف المياه بالحفرة . ويتبقى فى قاع الحفرة فى النهاية بقايا من معادن الكوارتز التى تبدو على شكل حصى وحصباء بيضاء اللون لم تستطع الرياح على حملها كما لم تستطع المياه أو فعل التجوية الكيميائية اذابتها أو تحللها .

وقد درس الكاتب أثر فعل التجوية فى تشكيل أسطح التكوينات الصخرية لجبل حفيت ، جنوب مدينة العين ـ دولة الإمارات العربية المتحدة (*Abou El-Enin, H. 1993*) . وقد نتج عن التجوية الطبيعية أو الميكانيكية تكسير أسطح الصخور المنكشفة وتفتيتها إلى جزيئات صغيرة الحجم وهذه بدورها تتجزأ إلى جزيئات أصغر فأصغر حجما مع مرور الزمن دون أن يتغير التركيب المعدنى للصخور . وقد ساعدت ظروف المناخ القارى وارتفاع المدى الحرارى اليومى والفصلى على شدة هذا العمل فى التكوينات الصخرية المكنشفة من جبل حفيت .

ونتيجة لتوالى حدوث عمليات التقشير الصخرى *Exfoliation* فى بعض أجزاء من أسطح الصخور المنكشفة فى جبل حفيت تتكون التلال والقباب الصخرية *Exfoliated Hills and Domes* ، وبفعل التسخين الصخرى أثناء النهار والتبريد أثناء الليل تشكل جبل حفيت بالشقوق الصخرية العمودية *Vertical Joints* التى يزداد اتساع فتحاتها يوماً بعد يوم ، وتؤدى فى النهاية تقسيم الحافات الصخرية إلى كتل صخرية متجاورة وتكوين الأعمدة الصخرية *Rock Pillers* والشواهد الصخرية والتلال المنعزلة .

ولما كانت الصخور الجيرية الايوسينية لجبل حفيت تتكون من طبقات متنوعة غير متجانسة نوعاً وسمكا وصلابة فقد تشكلت منحدراته وحافاته

الصخرى بفعل التجوية المتباين *Differential Weathering* وبالفتحات الصخرية *Rock Hollows or Weathered Rock* وبالأسطح الصخرية المخدّدة *Grooved Surfaces* وبفتحات النوافذ الصخرية *Rock-Windows* ، كما تتجمع المخروطات الارسابية *Talas Cones* تحت أقدام الحافات الصخرية .

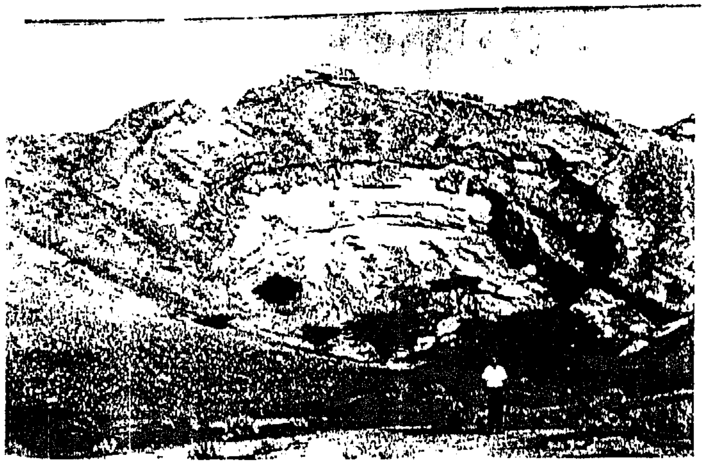
وقد تبين أن التجوية الكيميائية فى الصخور الجيرية الايوسينية لجبل حفيت أدت إلى تحلل أجزاء من الصخر وذوبانها عن طريق التميه *Hydration* أو الحلمأة (التحليل بالماء) *Hydroloysis* والأكسدة *Oxidation* والكربنة *Carbonation* والذوبان *Solution* . وقد أسهم التكوين الجيرى للصخور ونظام تشققه على تشكيل فعل التجوية الكيميائية فى جبل حفيت وتنوع مداها من قسم إلى آخر . وقد أبرزت التجوية الكيميائية ظاهرات جيومورفولوجية متنوعة دقيقة الحجم *Micro-surface Forms* فى التكوينات الجيرية الأيوسينية لجبل حفيت من بينها اتساع فتحات الشقوق *Widening of Joints* والأسطح الصخرية المبرية المثلمة أو المجعدة *Furrowed and Fretted Rock-Surfaces* والقشرة الصخرية الغطائية الصلدة *Duri-Crust or Case-Hardening* وفجوات وفتحات الاذابة *Solution Holes* وحفر التجوية *Weathering Pits* (لوحة ٢٩) .

وفى بعض المواقع قد تتعرض التكوينات الصخرية الضعيفة للتآكل بفعل التجوية وتتكون فيها ثقوب صخرية تتسع بالتدريج إلى أن تكون حفر متعمقة ، وقد تتصل بعض الحفر مع بعضها من جانبين متضادين ويتكون ما يسمى بالنوافذ الصخرية (لوحة ٣٠) وتظهر الطبقة الرقيقة السمك من القشرة الصخرية الغطائية الصلدة *Duri-Crust* أعلى هذه النوافذ (١) .

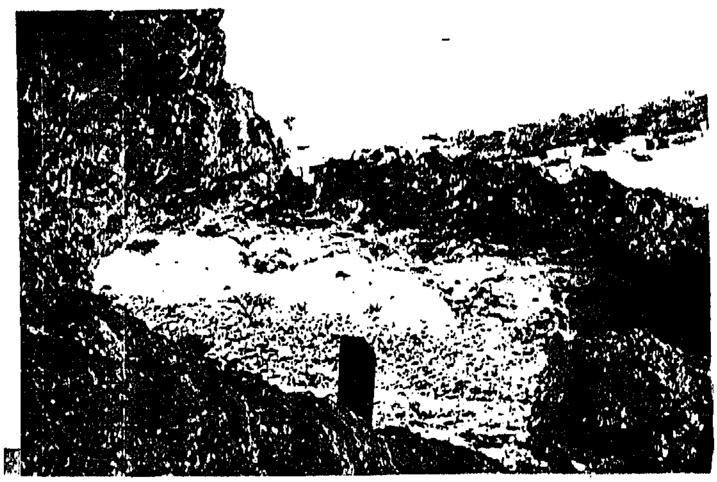
---

(١) حسن أبو العينين بعض الظاهرات التركيبية النشأة فى جبل حفيت. الجمعية الجغرافية الكويتية - ديسمبر (١٩٩٢) .

b- Abou El-Enin, H.S., "Rock weathering in Jabal Hafit.." Geog. Soc Kuwait (1993).



(لوحة ٢٩) حفر التجوية المتعمقة فى انحدار الميل dip slope للحافات الرأسية فى جبل حفيت (جنوب مدينة العين) دولة الإمارات - تصوير الباحث



(لوحة ٣٠) فتحات النوافذ الصخرية ويظهر فوقها القشرة الصخرية الغطائية الصلدة Duri Crust - جبل حفيت - جنوب مدينة العين - دولة الإمارات العربية المتحدة - تصوير الباحث

وبفعل كل من التجوية الطبيعية والكيميائية معاً ، قد يزداد اتساع النوافذ الصخرية وفى حالة تآكل التكوينات الصخرية التى تقع على جانبيها تتكون ظاهرة الأقواس الصخرية . ومن بين أمثلة الأقواس الصخرية ذلك القوس الصخرى الرائع المنظر الذى يقع شامخا فوق أعالى الحافات الصخرية (٦٠ متراً فوق سطح أعالى الحافة) فى جنوب شرق ولاية يوتاه (لوحة ٣١) .

٤ - أثر فعل التجوية في تكوين الصخور البيضاوية أو الكروية الشكل

عندما تتعرض أسطح الطبقات الصخرية العلوية المنكشفة على سطح الأرض للتفتيت والتقسيم بواسطة الشقوق الكثيفة المتشابكة ، تصبح سهلة التشكيل بفعل التجوية التى يمكن لها التوغل لمسافات بعيدة داخل الصخر نفسه (قد تبلغ أحيانا ١٠٠ قدما عن السطح) . وعلى الرغم من أن مدى أثر فعل التجوية فى الصخور يختلف من صخر إلى آخر تبعا لعوامل محلية متعددة إلا أن هذا الأثر لا يقع تحت منسوب مستوى الماء الجوفى الدائم .



(لوحة ٣١) القوس الصخرى الطبيعى فى جنوب شرق ولاية يوتاه

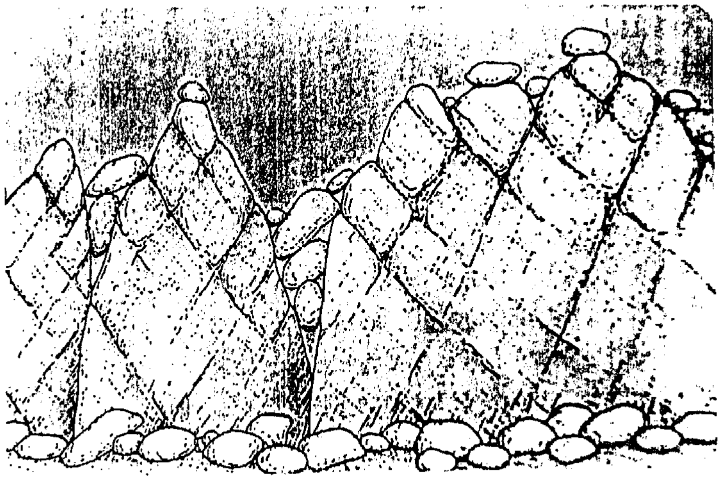
وعندما ينقسم الصخر إلى كتل مكعبة الحجم بواسطة الفوالق الرأسية والعرضية المتشابكة فإن كل جوانب هذه الكتل تتعرض بدورها لفعل عوامل التجوية المختلفة . ولكن يختلف مدى فعل هذه العوامل فى تآكل الكتلة الصخرية من جزء إلى آخر ، حيث تتآكل حواف الكتلة وأجزائها البارزة وجوانبها بسرعة عما يحدث بالنسبة لجوفها الذى يظهر فى النهاية على شكل كروى أو بيضاوى وذلك بعد شطف جوانب الكتلة الصخرية . ويطلق على عملية التجوية التى تنحت جوانب الكتل الصخرية المكعبة وتغيرها إلى شكل شبه كروى أو بيضاوى تعبير *Spheroidal Weathering*) (لوحة ٣٢ أ،ب) .

وقد تتجمع مواد ارسابية مفتتة فى فتحات الشقوق الصخرية المتشابكة التى تفصل كتل الجلاميد البيضاوية الشكل بعضها عن البعض الآخر ، وتؤدى إلى تماسك الكتل الصخرية والتصاقها . وإذا كانت المادة اللاحمة الجديدة أشد صلابة نسبيا من الجلاميد البيضاوية فإن الأخيرة تتآكل بدرجة أسرع من المادة اللاحمة التى تظهر تبعا لذلك بارزة فوق أسطح الجلاميد وتكون أشبه ما يكون بشكل خلايا النحل ولذا أطلق البعض عليها تعبير *Honeycomb Weathering* (لوحة ٣٣) .

ثالثا : التجوية بفعل الكائنات الحية

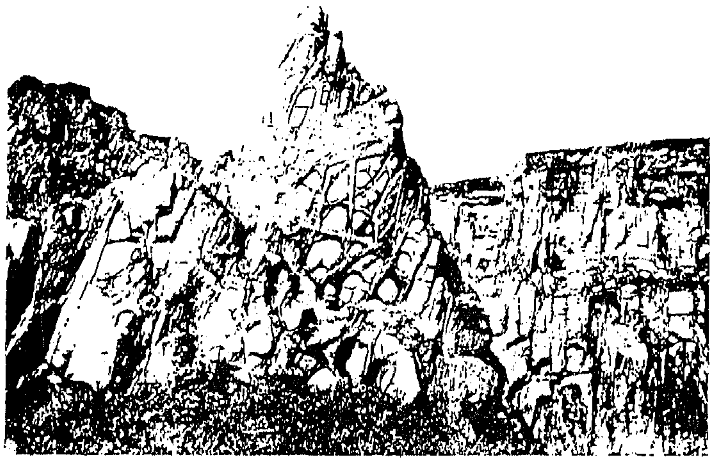
Biotic Weathering

لبعض الكائنات الحية أثرا فاعلا فى تفتيت جزيئات الصخر بل واضعافه جيولوجيا ، ومن ثم تسهل فعل عمليات التعرية المختلفة . فجذور الأشجار التى تتوغل فى باطن التربة وأسطح الصخور عبر فتحات الشقوق والصدوع تعمل على اتساع هذه الشقوق وتفكيك الصخر . فإذا كانت جذور هذه الأشجار تحتل أعالى حافات جبلية عالية ، فقد ينجم عنها سقوط الكتل الصخرية بعد تفكيكها ومن ثم سرعة تراجع الحافات الجبلية خلفيا . ونتيجة لاستمرار تغلغل الجذور الرئيسة للنبات فى التربة وفى الشقوق الصخرية ، تزداد نسبة ثانى أكسيد الكربون داخل الفراغات الصخرية ، ويساعد ذلك من ناحية أخرى على





(لوحة ٣٢ أ ، ب) تكوين الصخور الكروية أو البيضاوية الشكل بفعل التجوية على طول أسطح الشقوق



(لوحة ٣٣) التجوية فى الصخور البيضاوية وتكوين صخور خلايا النحل

تنشيط فعل التجوية الكيميائية فى التربة (لوحة ٣٤ ، ولوحة ٣٥) .

وقد تبين بأن الجذور الرئيسة للنباتات *Tap roots* قد تصل فى التربة إلى عمق ١٠ أقدام من سطح الأرض ، فى حين تنتشر الجذور الثانوية والفرعية إلى أعماق أبعد من ذلك حيث قد تمتد لنحو ٢٠ قدماً فى سطح الأرض . ومع ذلك فقد يظهر مدى تأثر التكوينات الصخرية بفعل امتداد جذور النباتات فيها عند أعماق بعيدة عن سطح الأرض قد تبلغ نحو ١٧٥ قدما من سطح الأرض . ولا يقتصر عملية تفتيت التربة أو الصخر بفعل امتداد جذور النباتات نفسها ، بل أيضا بفعل التأثير الكيميائى الناتج عنها ، ويظهر أثر ذلك أسفل أطراف جذور النباتات لمسافات بعيدة فى الصخر .

وأظهرت نتائج البحوث الحقلية الأثر الناتج عن الديدان فى تفتيت التربة . فقد لاحظ العالم دارون *Darwin* هذه الحقيقة منذ أكثر من قرنين من الزمان ، وأكد بأن الديدان *Warms* تعمل على تفكيك الصخر وتقليب التربة . ولكنه كان مغاليا حين اقترح بأن الديدان يمكن لها أن تقلب نحو ١٥ ألف طن من مكونات التربة فى الفدان الواحد خلال العام . ويذكر الأستاذ كينج *L. C. King* أن تأثير الديدان فى تقليب التربة فى مناطق جنوب أفريقيا أقل من



(لوحة ٣٤) أثر جذور الأشجار فى تفتيت إحدى الكتل الصخرية الضالة
إقليم انجلس ـ بريطانيا



(لوحة ٣٥) توغل جذور الأشجار داخل فتحات الصخور

التقدير الذى اقترحه دارون من قبل . ويصل هذا الأثر إلى تفتيت ما يقدر بنحو ١٠ إلى ٢٠ طناً من مواد التربة فى الفدان الواحد خلال العام.

أما النمل الأبيض *Termites* والذى ينتشر فى الأراضى الطينية وحول المجارى النهرية بأواسط أفريقيا فإنه يعمل على تقليب التربة بسرعة ، ونقل مفتتاتها واستخدامها فى بناء أعمدة طينية رأسية الامتداد يبلغ متوسط ارتفاعها نحو ٣٥ قدما فوق سطح الأراضى المجاورة . وقد صادف الجيومورفولوجيون فى بداية الأمر عدة صعوبات عند تفسير نشوء مثل هذه الأعمدة الطينية الغريبة الشكل فى مثل هذه المناطق ، ولكن عند تكسير أجزاء من هذه الأعمدة انبثقت منها جيوش النمل الأبيض ، واتضح لهم بأنها بيوت للنمل الأبيض وعرفت باسم *Termitaria* . ومن بين أحسن أمثلة هذه الأعمدة الطينية تلك التى تتمثل فى بعض أجزاء من روديسيا وحوض الكنغو وفى مناطق متفرقة من كينيا ، وتنزانيا (لوحة ٣٦) .

ولبعض الكائنات الحية الأخرى مثل البكتريا *Bacteria* أثرا ملحوظا فى تشكيل التربة ، وتعديل تركيبها الكيميائى بل وخواصها الطبيعية كذلك . وقد ينتج عنها أيضا تحسين تركيب التربة ومكوناتها . والبكتريا أنواع متعددة ، تصنف عامة إلى مجموعتين هما :

أ – البكتريا متعددة التغذية *Heterotrophic* وهذه تستمد غذائها من المصادر العضوية .

ب – البكتريا ذاتية التغذية *Autrophic* ، وهذه تستمد غذائها من الأشعة الشمسية عن طريق عملية التمثيل الضوئى ومن ثم تعرف باسم *Photo synthetic* ، وبعضها الآخر يعمل على أكسدة بعض المواد المعدنية مثل الكبريت والحديد ، وتعرف باسم بكتريا كيميائية التغذية *Chemotrophic* . ويعد هذا النوع الأخير من بين أهم أنواع البكتريا التى تؤثر فى تفتيت السطح ، وتقليب مكونات التربة وتغييرها .



(لوحة ٣٦) أحد نماذج أعمدة الترميتاريا (بيوت النمل الأبيض) فى جنوب أفريقيا

ولا يخفى علينا أثر فعل الحيونات القارضة *Burrowing animals* فى حفر التربة السطحية وتسويتها . فقد تبين بأن أسطح التربة الرملية فى أواسط استراليا مفتتة تماما ويكثر فيها الحفر والكهوف المحفورة بفعل جيوش الأرانب البرية التى تعيش فيها . وتعمل مجموعات كلاب البرارى البرية نفس هذا العمل فى مناطق تربة التشرنوزم .

وعندما تتجمع الأعداد الكبيرة من القطعان والحيوانات حول العيون المائية بقصد الشرب فى المناطق شبه الصحراوية التى تتميز بندرة غطائها النباتى ، تساعد حوافرها على تكسير سطح التربة وتسويته بل وتفكيك أجزاء التربة كذلك وتحويلها إلى أتربة ورمال دقيقة الحجم . وتحمل هذه الرمال بدورها بفعل الرياح الشديدة فى فصل الجفاف إلى مناطق قد تبعد مئات الأميال عن المنطقة التى اشتقت منها . وقد أكد بعض الكتاب أن نشأة السهول المستوية الواسعة الامتداد حول العيون المائية فى هضبة هيريرو *Herero* فى جنوب أفريقيا ترجع إلى أثر تفكك جزيئات التربة ثم تسويتها من جديد بفعل حوافر الحيوانات وليس لعوامل تحاتية .

ويعتبر الانسان كذلك عامل من بين أهم العوامل التى تنظم عمليات

التجوية والتعرية في الصخور . فعند بناء الطرق وشق الممرات والانفاق وتسوية الأرض من شأن كل هذه الأعمال أن تؤدى إلى تجديد نشاط عوامل التعرية المختلفة . كما يعمل الانسان على تنظيم فعل عوامل التعرية ، حيث لجأ الى استزراع الغابات من جديد على السفوح الجبلية الشديدة الانحدار والتى كانت من قبل مسرحا لكل من عمليات الزحف والانزلاق والتساقط الصخرى . أما فى المناطق الساحلية المنخفضة والتى كثيرا ما تتعرض لطغيان مياه البحر عليها ، لجأ الانسان إلى بناء الجسور لحماية الأرض الطيبة التى يقوم بزراعتها . وبمساعدة التقدم التكنولوجى لا يزال يعمل الانسان على استخدام أنسب الوسائل لحماية الشواطئ من فعل التعرية البحرية ، وجوانب المنحدارات الجبلية من فعل الانزلاقات الأرضية ، واقامة الأسوار الصناعية لحماية الأراضى الزراعية من تحرك الكثبان الرملية وانشاء مصدات الرياح ، ويبنى الانسان فى المناطق الباردة اسواراً أو مصدات للحد من تقدم الجليد والثلج لحماية الطرق البرية .

بعض العوامل التي تؤثر في المواد الناتجة عن فعل التجوية :

يمكن تقسيم المواد التى تنتج عن فعل التجوية إلى قسمين رئيسيين هما ، مواد مذابة ومواد غير قابلة للذوبان . وتحمل المواد الأولى بواسطة المياه الجوفية أو السطحية وتنقل من مكان إلى آخر بالتعلق أو بالذوبان مع حركة المياه نفسها . أما مواد المجموعة الثانية فقد تذروها الرياح تارة ، وتنقل من بقعة إلى أخرى على سطح اليابس تارة أخرى ، وبعضها الآخر قد يستقر فى نفس الموقع الذى تفككت منه ويكون الصلصال الموضعى *Residual Clay* .
وقد ينجم عن نقل المفتتات الصخرية بواسطة الرياح وارسابها فى مناطق أخرى تكوين تربات واسعة الامتداد مثل تربة اللويس التى تغطى معظم أراضى سيبريا وشمال الصين ، والتى نشأت بفعل ارساب الرياح لكميات هائلة من المفتتات الصخرية والرمال خلال فترات الجفاف التى ميزت الأحوال المناخية للمناطق شبه الجليدية البلايوستوسينية *Periglacial*

Climatic Conditions . إلا أن المواد التى تنتج عن أثر فعل التجوية فى الصخور تختلف فى أشكالها وخصائصها من مكان إلى آخر ، ويساعد على ذلك العوامل الآتية :

١- التركيب الصخري :

لا تختلف الصخور من حيث درجة صلابتها فقط (فمثلا الكوارتزيت أشد صلابة بنحو ١٦ مرة من الصخور الجيرية) ، ولكنها قد تختلف كذلك من حيث تأثرها ومدى مقاومتها لفعل التجوية الكيميائية . فدلت النتائج المعملية على أن صخور الكوارتزيت تقاوم فعل عوامل التجوية الكيميائية بدرجة أعلى منها فى الصخور الجيرية . ويرجع السبب فى ذلك إلى أن المعادن التى يتركب منها صخر الكوارتزيت تعد معادن شديدة الصلابة لا تتأثر كثيرا بفعل التجوية الكيميائية بينما تلك التى تدخل فى تركيب الصخور الجيرية سرعان ما تتحلل أو تتفت بفعل مياه الأمطار خاصة التى تحتوى على نسبة عالية من ثانى أكسيد الكربون المذاب فى الماء . إلا أن الصخور الجيرية تعتبر صخورا صلبة كذلك وتقاوم فعل التجوية إذا ما وجدت وانكشفت فى المناطق الصحراوية الجافة ، حيث إن عمليات التجوية الكيميائية ضعيفة الأثر فى هذه المناطق ، وبذا تكون الطبقات الجيرية فى المناطق الصحراوية الجافة حافات جبلية شديدة الانحدار ، بينما تتآكل وتتحلل إذا وقعت تحت تأثير المناخ الرطب وتكون ظواهر جيومورفولوجية متعددة تبعا لفعل التحلل والذوبان كما هو الحال فى أقاليم الكارست الجيرية .

ومن خصائص الصخور الطينية والصلصالية أنها تقاوم فعل التجوية الكيميائية ذلك لأن المعادن التى تدخل فى تركيبها هى معادن غير قابلة للتحلل أو الذوبان . ولكن اذا تعرضت الصخور الطينية والصلصالية لفعل التجوية الميكانيكية أو لفعل عوامل التعرية الأخرى فإنها سرعان ما تتآكل وتزال فى وقت قصير تبعا لليونة الصخور ورخاوتها .

٢ - المنـــاخ :

تؤثر عناصر المناخ المختلفة (خاصة الحرارة والتساقط والصقيع) فى مدى سرعة فعل التجوية وتجديد نشاط عوامل التعرية الأخرى التى تؤثر فى تشكيل الظواهر الجيومورفولوجية لسطح الأرض . وكما سبق القول أن التجوية الكيميائية لابد وأن يساعد على حدوثها وجود المياه . ويمكن أن نذكر نقطتين رئيسيتين يؤثران فى الفعل الكيميائى وهما :

(أ) أن الفعـل الكيميائـى يتضاعف قوة كلما ارتفعت درجـة الحـرارة بنحـــو ١٠ ْم .

(ب) أن المياه تعد عاملا أساسياً لحدوث التجوية الكيميائية ، وعلى ذلك يمكن القول أن التجوية الكيميائية أكثر حدوثا أو ظهورا فى المناطق الرطبة عنها فى المناطق الجافة . أما فعل التجوية الميكانيكية فهى أكثر حدوثا فى المناطق الجافة والصحراوية التى تتميز بارتفاع كل من المدى الحرارى اليومى والفصلى ، وكذلك فوق القمم الجبلية والمناطق المرتفعة فى النطاقات المعتدلة والباردة .

وللمناخ الأثر الكبير بل المظهر النهائى العام فى تشكيل الظاهرات الجيومورفولوجية على سطح الأرض بالرغم من أهمية اختلاف التكوين والنظام الصخرى . فمثلا قد نجد نوعا من الصخور يتشابه تكوينه الجيولوجى ونظام بنيته من مكان إلى آخر إلا أنه يكون ظاهرات جيومورفولوجية مختلفة إذا ما وقع تحت ظروف مناخية متباينة . فقد يتشابه التكوين الجيولوجى للصخور الجيرية فى المناطق الباردة الرطبة والمناطق الجافة الحارة ، إلا أنه تبعا لاختلاف الظروف المناخية تتكون فى المناطق الأولى الرطبة ظاهرات الكارست التقليدية بينما يتكون فى المناطق الثانية الجافة حافات صخرية صلبة واتضح من الدراسات الجيومورفولوجية المختلفة أن لكل من الأقاليم المناخية الاستوائية والمدارية والصحراوية والمعتدلة الباردة ، والقطبية ظاهرات جيومورفولوجية خاصة بها ، حيث يتأثر نشأتها بفعل عوامل تعرية مستمدة

من الظروف المناخية المحلية لكل إقليم . وهذه تعد من المفاهيم التى استخدمتها المدرسة المورفومناخية الحديثة فى الدراسات الجيومورفولوجية .

٣ - أشكال تضاريس سطح الأرض :

يؤثر اختلاف تضاريس سطح الأرض من إقليم إلى آخر فى مدى سرعة فعل التجوية . فتعمل الانحدارات الشديدة على سهولة نقل المواد الناتجة عن فعل التجوية وعوامل التعرية الأخرى ، وتدفقها من أعالى الانحدارات إلى ما تحت أقدامها . ويساعد فى عمل شدة الانحدار كل من الرياح والجاذبية الأرضية . وتتأثر المناطق الجبلية العالية الشديدة الانحدار بالأثر الناتج عن المدى الحرارى اليومى والفصلى فى تفكيك جزيئات الصخور ، ويشتد كذلك فعل سقوط الأمطار وجرفها الصخور على طول أسطح هذه المناطق . ومن ثم تمثل المناطق الشديدة الانحدار ، مسرحا لعمليات التجوية والتعرية المختلفة . وتنقل المفتتات الصخرية منها إلى المنحدرات السفلية المستوية السطح التى تعد من ناحية أخرى مناطق لتجمع الرواسب المختلفة .

الفصل الثاني عشر
تحـرك المـواد

يطلق على عملية تحرك الفرشات أو الغطاءات الإرسابية وبعض الكتل الصخرية من أعالى المنحدرات إلى أسافلها وما تحت أقدامها دون أن يقوم بعملية التحرك أو النقل هذه أى من عوامل التعرية اسم «تحرك المواد *Mass Movement*» . وتتم حركة زحف المواد وتدفقها من أعالى المنحدرات إلى أسافلها بفعل الجاذبية الأرضية وأثر شكل انحدار السطح ومدى تشبع التربة بالمياه . وقد استخدم الأستاذ كوتون *Cotton 1952* والأستاذ ثورنبرى *Thornbury, 1945* تعبير *Mass Wastage* ليدل على نفس المعنى السابق .

ويشمل هذا التعبير ثلاث عمليات رئيسة مختلفة هى :

(أ) فعل زحف التربة أو الصخور *Creeping*

(ب) فعل تساقط التربة أو الصخور *Falling*

(جـ) فعل الانزلاقات الأرضية *Sliding*

وقد استخدم الباحثون كذلك مصطلحات متعددة قصد منها الإشارة إلى نتائج فعل الانزلاقات المختلفة ومنها *Landslides, Landslips and Slumping* .

ويتضح أن جيولوجيى الولايات المتحدة الأمريكية استخدموا فى كتاباتهم تعبير «الأراضى المنزلقة *Landslides*» بينما يستخدم المهندسون المدنيون هناك تعبير «انزلاقات *Slides*» . أما فى كندا وانجلترا فإن تعبيرى *Slip and Landslips* يعدان أكثر شيوعا من التعبيرين السابقين . وتتميز عمليات الانزلاقات الأرضية بأنها تحدث بسرعة ، دون أن تلاحظ نشأتها فى الحقل . ويشابه فعل «تساقط الصخور *Rock falls*» الانزلاقات الأرضية فى أنه يحدث فجأة وبسرعة ، الا أن كلا منهما يختلف عن الآخر تبعا لاختلاف أشكال

التكوينات الساقطة أو المنزلقة وتركيبها . فبينما ينتج عن فعل تساقط الصخور جلاميد صخرية مفتتة من الحافات الصخرية تتراكم تحت أقدام هذه الحافات ينجم عن حدوث عمليات الانزلاق الأرضى انزلاق كتل هائلة الحجم من الحافات وتتدفق أسفل المنحدارات على شكل حواجز صخرية منزلقة *S lide Ridges* (١) .

أما فعل زحف التربة *Soil Creep* أو زحف الصخور *Rock Creep* فهو يختلف عن المجموعتين السابقتين (الانزلاق وتساقط الصخر) فى أنه يحدث ببطء شديد وعلى ذلك أمكن ملاحظة مراحل تطور حدوث عمليات زحف التربة أو زحف الصخور فى الحقل وتتبع الدورة التى يمر بها . وقبل دراسة الظاهرات الجيومورفولوجية التى تنجم عن هذه العمليات المختلفة وأثرها فى تشكيل مظهر سطح الأرض ، ينبغى الإشارة كذلك إلى التصنيفات التى اقترحت لتمييز هذه الظواهر ، وتطور المعرفة الخاصة بدراستها .

تصنيف عمليات الزحف والتساقط والانزلاقات الأرضية والظواهر الناجمة عن حدوث كل منها

(أ) التصنيفات القديمة :

من بين أقدم هذه التصنيفات ذلك التقسيم الذى رجحه بالتزر *Baltzer* فى عام ١٨٨٠ والذى ميز فيه أربع مجموعات من الظواهر تبعا لاختلاف المواد التى تتركب منها المواد المتحركة واختلاف طبيعة الحركة التى أدت إلى

---

(1) a - Abou - El-Enin, H. S., "Essays on the geomorphology of the Lebanon" Beirut 1973.

b - Abou - El-Enin, H. S., "Examination of surface forms with a particular reference to the Quaternary Era" Ph. D. Thesis. Univ. Sheffield, 1964.

d - Eckel, "Landslide, types and processes", Washington, D. C. 1955.

بشأتها من ناحية أخرى . وقد اشتمل تقسيم بالتزر على الآتى :

١ - تساقط الصخور *Rock Falls (Felsstûrze)*

٢ - انزلاق الأرض *Earth Slips (Erdschiffe)*

٣ - الأنهار الطينية *Mud Streams (Schlammastrome)*

٤ - التساقط المركب *Mixed Fall (Cemischte stûrze)*

وقد رجح الأستاذ ألبرخت بينك *Albrecht Penck* تقسيما آخر فى عام ١٨٩٤ ميز فيه بين عمليات تحرك التربة والانزلاقات الأرضية دون تدخل أو مساعدة عوامل التعرية المختلفة ، وتلك التى تتحرك بمساعدة بعض من هذه العوامل بطريق غير مباشر . وتقدم فى نفس العام (١٨٩٤) الأستاذ موليتر *Molitor* بتقسيم آخر ميز فيه العمليات الآتية :

١ - انزلاق الأرض على طول السفوح الشديدة الانحدار .

٢ - انزلاق الأرض تبعا لتشبع الرواسب بالمياه .

٣ - تساقط الصخور من أعالى الحافات الصخرية ، عندما يختل توازنها تبعا لتآكل الطبقات السفلية اللينة .

وفى بداية هذا القرن اهتمت الأبحاث الجيومورفولوجية بدراسة عمليات رحف التربة أو الصخور وانزلاقها والظواهر الجيومورفولوجية الناجمة عنها . وقد رجح الباحث ترزاجهى *Terzaghi* فى عام ١٩٢٥ تقسيما آخر ، وميز بين حركتين مختلفتين هما :

١ - الحركات الجافة *Dry Movement* ، ويقصد بذلك تحرك الغطاءات الارسابية أو تساقطها أو انزلاقها دون تشبعها بالمياه .

٢ - الحركات الرطبة *Mush Movements* ، ويقصد بذلك تحرك الغطاءات الارسابية أو تساقطها أو انزلاقها تبعا لتشبع الرواسب بالمياه ووقوعها على السفوح الشديدة الانحدار .

ثم تقدم الأستاذ هينس *Hennes* فى عام ١٩٣٦ بتقسيم جديد لهذه الظواهر

معتمدا على اختلاف طرق نشأتها وخصائص حركتها إلى ما يلى:

١ - الانزلاقات الأرضية الكبرى التى تحدث فى كل من الارسابات المتجانسة *Homogeneous* وغير المتجانسة *Hete rogeneous* .

٢ - زحف الارسابات الشديدة اللزوجة (المتشبعة بالمياه) .

٣ - تساقط الصخور .

يلاحظ من دراسة الأسس التى اعتمدت عليها هذه التصنيفات القديمة بأنها ليست تقسيمات جامعة مانعة كما أنها خلطت بين العوامل التى تؤدى إلى عمليات الزحف أو التساقط أو الانزلاق ، والظاهرات الجيومورفولوجية الناجمة عنها ، وعلى ذلك تبين أن معظمها عبارة عن تقاسيم ناقصة ، ولم تبن على أسس علمية سليمة .

(ب) التصنيفات الحديثة :

من بين أهم التصنيفات الحديثة التى تميزت بكونها تصنيفات جامعة شاملة لمعظم إن لم يكن لكل الظاهرات الجيومورفولوجية الناتجة عن عمليات زحف وتساقط وانزلاق الأرض هما تقسيم الأستاذ شارب *Sharp, C. F. S.* . عام ١٩٣٨ (١) ، وتقسيم الأستاذ فارنز *Varnes, D. J.* عام ١٩٥٨ (٢) . وقد اعتمد شارب فى تقسيمه على أساس اختلاف سرعة حركة المواد المنزلقة من ناحية وخصائص المواد التى تأثرت بهذه الحركة من ناحية أخرى . وقد ميز أربع مجموعات رئيسة تتلخص فيما يلى :

---

(1) Sharp, C. F. S. "Landslides and related phenomena" Columbia University Press, New York 1938.

(2) David J. Varnes, "Landslide types and processes", a chepter in "Landslides and engineering practice" edited by Eckel Washington, D. C. (1955). 20 - 47.

١- الحركة البطيئة للمواد: *Slow Flowage Type* وتشمل :

أ – زحف المواد *Creep*

ب – زحف التربة *Soil Creep*

جـ – زحف الارسابات تحت أقدام الحافات الصخرية *Talus Creep*

د – زحف الصخور *Rock Creep*

هـ – زحف ارسابات الجلاميد والطفل الجليدى *Rock-glacier creep*

و – زحف مواد التربة والغطاءات الارسابية المتشبعة بالمياه *Solifluction* ، خاصة فى المناطق الجليدية وشبه الجليدية .

١- الحركة السريعة للمواد: *Rapid Flowage Type* وتشمل :

أ – انسياب المواد الترابية *Earth Flow*

ب – انسياب المواد الطينية *Mud Flow*

جـ – انهيار المفتتات الصخرية *Debris Avalanche*

٢- الانزلاقات الأرضية: *Land Slides* وتشمل :

أ – الانزلاقات الكبرى *Land Slides*

ب – الانزلاقات الثانوية *Slump*

جـ – انزلاق المفتتات الصخرية *Debris Slide*

د – تساقط المفتتات الصخرية *Debris Fall*

هـ – انزلاق الكتل الصخرية *Rock Slide*

و – تساقط الكتل الصخرية *Rock Fall*

٤- حركات الهبوط الأرضية: *Subsidence* :

أما الأستاذ «فانز» فقد اهتم هو الآخر فى تقسيمه بايضاح الأشكال المختلفة لكل عمليات زحف المواد وتساقطها وانزلاقها وهبوطها دون الاشارة بالتفصيل إلى العوامل التى أدت إلى نشأتها . وقد اعتمد فى تقسيمه على أساسين هامين هما :

أ – نوع المواد التى تعرضت للحركة *The type of materrial involved*

ب – نوع الحركة نفسها *The type of movement*

وحيث إن هذه الظاهرات الجيومورفولوجية السابقة تهم المهندسين المدنيين الذين يقيمون الطرق والمنشآت المختلفة فى المناطق الجبلية التى قد تتعرض لعميات زحف الأرض وانزلاقها وهبوطها ، لذا كانت تقسيماتهم لهذه الظواهر تختلف كذلك عن تلك التى يرجحها كل من الجيومورفولوجيين والجيولوجيين . فيهتم المهندسون بتلك التقاسيم التى قد تساعدهم على فهم خصائص الحركة نفسها حتى يمكن اتخاذ الوقاية اللازمة لوقف اخطارها وتحديد الخسائر التى قد تنجم عن حدوثها . بينما يركز الجيومورفولوجيون اهتماماتهم على التقاسيم التى تختص بدراسة اختلاف أشكال الظواهر الجيومورفولوجية الناجمة عن عمليات زحف الأرض وانزلاقها والخصائص التى تدل على نشأتها ومراحل تطورها .

بعض الظاهرات الجيومورفولوجية الناتجة عن فعل كل من عمليات زحف الأرض وانزلاقها وهبوطها

قبل الحديث عن هذه الظاهرات ينبغى أن نشير إلى العوامل التى تساعد على تكوين هذه العمليات وأسباب حدوثها فى بعض مناطق معينة من سطح الأرض ، وتتخلص هذه العوامل فيما يلى :

١ – التركيب الصخرى : ،تتميز المناطق التى تحدث فيها عمليات زحف الأرض وانزلاقها فى أن صخورها تتركب عادة من طبقات صلبة متعاقبة فوق أخرى لينة هائلة السمك . فعندما تتآكل الصخور السفلى اللينة بفعل عوامل التعرية المختلفة ، يختل توازن الطبقات الصلبة العليا ، وقد ينجم عن ذلك حدوث عمليات تساقط أو انزلاق الصخور . ويغلب على الصخور الصلبة كذلك ارتفاع مساميتها وقدرتها على نفاذية المياه وتتميز كذلك بتأثرها بالشقوق وفتحات الفوالق وكلها عوامل تزيد من انتشار مناطق الضعف

الجيولوجى فى الصخر من ناحية ، كما أنها تسهل عملية انفاذ المياه إلى جوف الصخور من ناحية أخرى . وتساعد هذه العملية الأخيرة على تشبع الطبقات السفلى بالمياه وقد ينجم عنها عمليات تساقط أو انزلاق الأرض .

٢ – أشكال تضاريس سطح الأرض : تؤثر الانحدارات فى تشكيل الظاهرات الجيومورفولوجية الناجمة عن عمليات زحف الأرض وانزلاقها بل تساعد كذلك فى مراحل نشأة هذه العمليات نفسها . فقد اتضح من نتائج الدراسات الجيومورفولوجية أن هذه العمليات تحدث غالبا على طول السفوح الشديدة الانحدار فى المناطق الجبلية . ويرجع السبب فى ذلك إلى أن فعل الجاذبية الأرضية على طول هذه الإنحدارات أقوى بكثير منه على الأسطح المستوية أو البسيطة الانحدار .

٣ – الظروف المناخية : قد تساعد بعض الظروف أو الأحوال المناخية على حدوث بعض من العمليات السابقة . ففى المناطق الجبلية التى يغزر فوقها سقوط الأمطار قد تتشكل منحدراتها ببعض عمليات تساقط الصخور وانزلاق الأرض . وفى المناطق الباردة حاليا والمناطق شبه الجليدية *Periglacited Regions* التى كانت تشغل مساحات واسعة من سطح الأرض خلال العصر الجليدى البلايوستوسيني تتميز سفوحها الشديدة الانحدار بحدوث هذه العمليات المختلفة تبعا لتأثر صخورها بتوالى عمليات التجمد والانصهار *Freezing and Thawing Porcesses* كما وقد تعمل الأمطار الاعصارية الغزيرة وحدوث السيول الجارفة فى المناطق شبه الجافة على حدوث عمليات انزلاق الأرض وانهيارها .

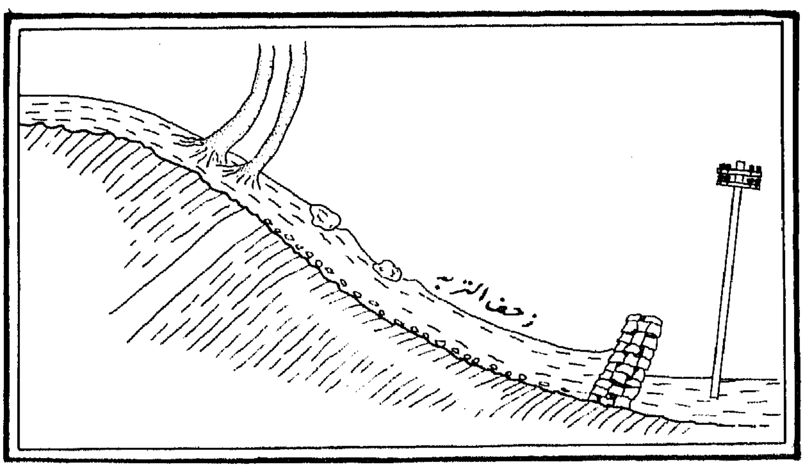
٤ – الغلاف النباتى : كما هو معروف أن الغطاءات النباتية تعمل على تماسك أجزاء التربة وخاصة فوق السفوح المنحدرة . ومن ثم فإن عدم تغطية الانحدارات بالغطاءات النباتية تعد من بين أهم مقومات حدوث عمليات زحف الأرض وانزلاقها .

وسنتبع فى حديثنا عن الظاهرات الجيومورفولوجية الناجمة عن عمليات

زحف الأرض وانزلاقها وهبوطها نفس التقسيم الذى رجحه الأستاذ «شارب» من قبل .

أولا : الظاهرات الجيومورفولوجية الناتجة عن أثر فعل الحركة البطيئة للمواد :

من الصعب مشاهدة حدوث عملية الحركة البطيئة للمواد فى الحقل غير أنه يمكن ادراك هذه العملية بملاحظة آثارها على المنشآت المختلفة مثل أعمدة التلغراف والتليفون التى تميل عادة عند تراكم المواد عليها ، أو ميل جذوع الأشجار تبعا لدفعها بواسطة هذه الارسابات . وينجم عن حدوث الحركة البطيئة للمواد تشطيف المنحدرات وتسوية أسطحها ، أو بمعنى آخر طمس مظاهرها الجيومورفولوجية (شكل ٥٥) .



(شكل ٥٥) بعض الظواهر التى تدل على حدوث عمليات زحف التربة

ومن الظواهر الناجمة عن الحركة البطيئة للمواد تلك الرواسب المعروفة باسم المخروطات الهرمية الارسابية *Talus or Scree* والتى تتجمع عادة تحت أقدام الحافات الصخرية الشديدة الانحدار ، وتتركب رواسب «التيلاس» من مفتتات صخرية كبيرة الحجم نسبيا ، وقد يتمكن بعض منها من البقاء على المنحدرات الشديدة . وقد لاحظ الأستاذ «بهر *Behre*» عام ١٩٢٣ وجود هذه الرواسب على بعض منحدرات مرتفعات الروكى التى يتراوح درجة انحدارها فيما بين ٢٦° إلى ٣٥° . وقد تتميز حركة رواسب التيلاس بالسرعة إذا كانت المنطقة تعرضت لتوالى فعل التجمد والانصهار *Freeze and thaw action* ، وتجدر الاشارة إلى أن كلمة «تيلاس *Talus*» قد استخدمت لكى ترمز إلى الرواسب والمفتتات الصخرية التى تتراكم على شكل مخروطات ارسابية أسفل الحافات الصخرية فى الأقاليم الصحراوية أو الأقاليم المعتدلة الباردة والباردة كذلك .

وقد درس الكاتب تكوين رواسب «التيلاس» أسفل الحافات الصخرية فى منطقة المغارة بشمال شبه جزيرة سيناء . وأهم ما يميز تكوينات هذه الرواسب أنها تتألف من مفتتات صخرية تشابه التكوين الصخرى لنفس الحافات التى تفككت منها . وتختلف أشكال هذه المخروطات وأحجامها تبعا لمدى فعل عوامل التعرية فى تآكل الحافات الصخرية من ناحية وخصائص المواد التى تتركب منها الأهرامات أو المخروطات الارسابية من ناحية أخرى . وقد لاحظ الباحث أن معظم الجلاميد الصخرية الخشنة الكبيرة والمتوسطة الحجم تنحدر بسرعة تحت أقدام الحافات ، أما رواسب الرمال والأتربة الدقيقة الحجم فتتركز فى أعالى المخروط الارسابى . وعند سقوط الأمطار تعمل الرمال والأتربة كمادة لاحمة بحيث تجمع جلاميد الصخر بعضها مع البعض الآخر وتعمل على تماسك أجزاء مخروط التيلاس .

أما زحف ارسابات الطفل الجليدى *Rock Glacier Creep* فهى من خصائص المناطق الجليدية ذلك لأن حدوث هذه العملية يرتبط بوجود

الجلاميد والرواسب الجليدية .

وقد درس الأستاذ «هيو *Howe*» هذه الظاهرة على سفوح مرتفعات سان جوان *San Juan Mountains* وذلك عام ١٩٠٩ ، كما درسها الأستاذ «كابس *Capps*» كذلك فى شبه جزيرة ألسكا عام ١٩١٠ . وقد اهتم بدراسة نشأتها وتصنيف أشكالها الأستاذ «شارب» فى عام ١٩٣٨ ، الذى أكد أن هذه الرواسب تتجمع عادة عند نهاية الثلاجات حيث لا يستطيع الجليد أن يدفعها إلى الأمام أبعد من الموقع الذى شغلته ، ومن ثم تتشكل حركات سيرها فيما بعد هذا النطاق تبعا لشدة الانحدارات التى تتدفق فوقها من جهة ومدى فعل الجاذبية الأرضية من جهة أخرى .

ويقصد بعملية زحف الصخور *Rock Creep* ، زحف الكتل الصخرية بمفردها «دون اختلاطها بأى رواسب أخري» على أسطح صخرية . وقد يشتد حدوث هذه العملية عادة فى المناطق التى تتألف من صخور صلبة من الحجر الرملى وصخور المجمعات (الكونجلوميرات) *Conglomerates* خاصة إذا كانت هذه الصخور تأثرت بالشقوق والفوالق الكثيفة المتشابكة والتى ينجم عنها اضعاف الصخر والظاهرات الناتجة عنها فى كل من مرتفعات البنين البريطانية (لوحة ٣٧) ومنحدرات لبنان الغربية فى لبنان (لوحة ٣٨) .



(لوحة ٣٧) زحف الصخور فوق السفوح الجنوبية الشرقية
لجبال البنين ـ انجلترا تصوير الباحث



(لوحة ٣٨) زحف الصخور تحت أقدام الحافات الصخرية الجوراسية الشديدة التشقق فى مرتفعات لبنان الغربية تصوير الباحث

أما ظاهرة زحف مواد التربة العالية التشبع بالمياه *Solifluction* فهى من خصائص المناطق شبه الجليدية *Periglaciated Regions* . فقد دلت نتائج الدراسات الجيومورفولوجية على أن المناطق المرتفعة فى الأقاليم شبه الجليدية والتى لم يستطع الجليد أن يغطيها ، وتلك الواقعة بجوار الركامات النهائية للغطاءات الجليدية البلايوستوسينية ، تعرضت لمناخ شديد البرودة خلال فصل شتاء طويل ، وتميز صيفها بقصر طوله وارتفاع درجة الحرارة خلاله نسبيا ونجم عن ذلك انصهار الثلج المتجمع فى مقعرات السطح وتكوين غطاءات مائية تستمد مياهها من الثلج المنصهر وعملت على تسخين أو زيادة نسبة الرطوبة فى الرواسب . هذه العملية الأخيرة ساعدت بدورها على سهولة زحف التربة أسفل المنحدرات وردمها لمعظم ان لم يكن لكل التفاصيل الجيومورفولوجية السطحية التى كانت تميز هذه المنحدرات من قبل . وقد أطلق الأستاذ «كيرك برايان» عل عملية تفكك الصخر بفعل التجمد *Freezing Action* تعبير *Congelifraction* أما عملية زحف المواد المفككة من أعالى

المنحدرات إلى ما تحت أقدامها فأطلق عليها تعبير *Congeliturbation* ، ومن ثم عرفت المواد الزاحفة نفسها باسم *Congeliturbates* .

وقد درس الكاتب أثر فعل عملية زحف التربة المشبعة بالمياه فى تشكيل المظهر الجيومورفولوجى العام للسفوح الجنوبية الشرقية لمرتفعات البنين البريطانية (لوحة ٣٩) فى مقاطعة داربى شير وذلك فى عام ١٩٦٣ (١) ، وفى مقاطعة يوركشير فى عام ١٩٦٤ (٢) . وقد تبين أن استواء أسطح المنحدرات يرجع أساسا إلى تغطيتها بفرشات من المفتتات الصخرية وزحف التربة المشبعة بالمياه خاصة أثناء الفترات شبه الجليدية . هذا وان عملية زحف التربة مازالت تحدث فى الوقت الحاضر ولكن بدرجة أقل منها بكثير عما كانت عليه خلال عصر البلايوستوسين .

وقد درس الباحث كذلك هذه الظاهرة فوق منحدرات مرتفعات لبنان الغربية وأكد بأنها كانت أكثر حدوثا خلال القسم الأوسط من البلايوستوسين ، حيث تعرضت مرتفعات لبنان الغربية لفترة مناخية تميزت بتساقط الثلج فوق قمم المرتفعات ، ونتج عن ذلك حدوث عمليات التشقق الصخرى بفعل التجوية ، وانتشار عمليات زحف المواد بصورها المختلفة . ويرجح الباحث كذلك بأن مرتفعات لبنان الغربية تعرضت لفترتين مناخيتين مختلفتين أثرت فى تكوين رواسب السوليفلاكشن القديمة (التى تتميز بصغر حجم مفتتاتها) وفترة مناخية أقل برودة إلى تكوين رواسب السوليفلاكشن فى المناطق الجبلية المرتفعة ، والتى تبدو فيها الرواسب على شكل جلاميد صخرية متجاورة للحافات الصخرية ، ولا تتحرك هذه الرواسب فى الوقت الحاضر مما يدل على أن العوامل التى أدت إلى نشوئها كانت تختلف عن تلك فى الوقت الحاضر . (لوحة ٤٠ ولوحة ٤١) .

---

(1) Abou - El-Enin, H. S., "Some periglacially modified surface features" The Journal of Sheffield Univ. Geographical Jour. No. 7 (1963) 3 - 6.

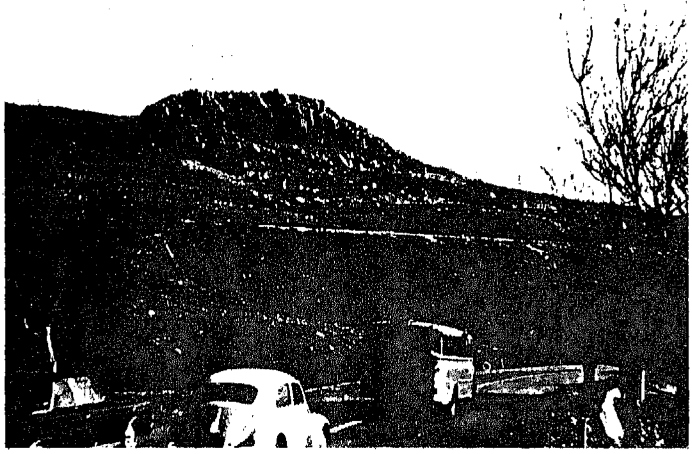
(2) Abou El-Enin H. S., "An examination of surface forms in the area drained by the Sheaf - with a particular reference to the Quaternary Era" Ph. D. Thesis Univ. of Sheffield. 1964.



(لوحة ٣٩) مفتتات التربة المشبعة بالمياه وزحفها فوق منحدرات مرتفعات البنين ـ انجلترا



(لوحة ٤٠) رواسب السوليفلاكشن القديمة صغيرة الحبيبات ، مما يدل على أنها تعرضت لفترة زمنية طويلة لتتابع عمليات التجمد والانصهار والتفتيت (مرتفعات لبنان الغربية ـ تصوير الباحث)



(لوحة ٤١) رواسب السوليفلاكشن الحديثة على شكل جلاميد صخرية كبيرة الحجم وتقع تحت أقدام الحافات الصخرية مما يدل على أنها تعرضت لفترة زمنية قصيرة لفعل التجمد والانصهار وأنها أحدث من الرواسب القديمة لأنها تقع فوق تكويناتها (مرتفعات لبنان الغربية ـ تصوير الباحث)

وقد أكد الأستاذ «شارب» [١] أن هناك أربعة عوامل رئيسة تؤثر فى حدوث الحركة البطيئة للمواد وتتلخص فيما يلى :

أ – تعمل المياه المذابة من أسفل التكوينات الجليدية على ارتفاع نسبة الرطوبة فى التربة .

ب – تسهم شدة سفوح المنحدرات فى حدوث حركة المواد وخاصة تلك السفوح التى لا تتغطى بالنباتات الطبيعية .

جـ – تكوين الأراضى الدائمة التجمد *Permafrost* أسفل التربة المتحركة .

---

(1) Sharpe, C. F S. "Landslides and related phenomena". Columbia Univ. New York, (1938), p. 53.

د – نشاط فعل التجوية فى الحافات الصخرية وينجم عن ذلك تقديم مواد صخرية مفتتة جديدة بصورة مستمرة وتعرضها للحركة على أسطح المنحدرات .

ثانيا : الظاهرات الجيومورفولوجية الناتجة عن أثر فعل الحركة السريعة للمواد :

تتميز حركة مواد هذه المجموعة من الظاهرات بأنها أسرع نسبيا من حركة مواد المجموعة السابقة ، وذلك يرجع إلى أن نسبة المياه فى رواسبها أكبر منها فى المواد التى تتميز بالحركة البطيئة . وأهم عمليات الحركة السريعة للمواد والظاهرات التى ترتبط بحدوثها تتمثل فيما يلى :

١ - انسياب المواد الترابية *Earth Flows* :

تتشابه نتائج فعل انسياب المواد الترابية للأرض مع تلك التى تحدث تبعا للإنزلاقات الأرضية المحدودة الحجم *Slumping* ، إلا أنه لا ينجم عن العملية الأولى تكوين حافات صخرية شديدة الانحدار تشرف على المواد المتدفقة من جهة ، كما أن الرواسب التى تنساب نحو الأجزاء الدنيا من الانحدارات لا تتميز بأى حركة خلفية أو تراجعية كما هو الحال بالنسبة للمواد التى تتعرض للانزلاقات الأرضية الكبيرة الحجم *Rotational Landslides* .

ويساعد على شدة انسياب المواد الترابية أسفل المنحدرات شدة تشبعها بدرجة كبيرة من المياه . وينجم عن حدوثها تسوية سطح الأرض العام وذلك بردم المقعرات السطحية *Concavities* ، وتشكيل المظهر الجيومورفولوجى العام لأسطح المصاطب الصخرية التى تتعرض لحدوثها . كما أنها تحدث على شكل غطاء متسع لا يحدده مجرى معين ، وتتدفق فرشات الرواسب بسرعة على أسطح المنحدرات . وتتمثل هذه الظاهرة فى المناطق الجبلية الباردة خاصة على سفوح كل من مرتفعات الأبلاش واسكتلندا وسبتسبرجن والألب.

٢ - انسياب المواد الطينية *Mudflows*:

تتميز المواد الطينية المنسابة كذلك بارتفاع تشبعها بالمياه ، ومن ثم فإن حركتها من أعالى المنحدرات إلى ما تحت أقدامها تتم بصورة سريعة . وتتدفق حركة انسياب المواد الطينية على سفوح المنحدرات على شكل مجرى طينى يكون لنفسه واد ضيق ذو جوانب قليلة الارتفاع الا أنه حائطى الشكل . وينجم عن هذه العملية خاصة تحت أقدام المنحدرات تكوين ألسنة طينية هائلة الحجم قد تغطى الأراضى السهلية المجاورة ، وتسبب لها أضرار جسيمة . وقد وصف الأستاذ جاليلى *J. Glilluly* (١) حدوث انسياب المواد الطينية فى بداية نشوئها نحو ستة أميال فى الساعة ، الا أنها تقل فى سرعتها بعد ذلك ، وتتراكم الارسابات الطينية فوق بعضها البعض . وقد نجم عن الانسياب الطينى الذى حدث فى عام ١٨٩٣ فى النرويج افتراش الأراضى السهلية المجاورة بفرشات سميكة من الطين وأدى إلى مصرع ما يقرب من ١١١ نفسا .

وقد لاحظ الأستاذ بلاكفيلدر *Blackwelder* حدوث هذه الظاهرة كذلك فى المناطق الجافة وشبه الجافة *Arid and Semi-arid Region* وذكر أن من بين أهم العوامل التى تساعد على نشأتها وجود مواد غير متماسكة على الأسطح الشديدة الانحدار والتى تتميز بخلوها من الغطاءات النباتية من ناحية وتشبع هذه المواد بالمياه عند حدوث السيول من ناحية أخرى .

٣ - انهيارات المفتتات الصخرية *Debris Avalanches*:

تحدث عمليات الانهيارات الصخرية فى المناطق الرطبة ، وتشبه كثيرا الهيارات الثلجية *Snow Avalanches* ، إلا أن الأولى تتركب من مواد صخرية مفتتة وليست من فتات ثلجية . وقد لاحظ حدوث هذه العملية الأستاذ

---

(1) Gilluly J. et al, "Principles of geology., W. H. Freeman and Company, (1959), p. 180.

«شارب» فى عام ١٩٣٨ ، عند دراسته السفوح الجبلية لمرتفعات جرين *Green* ومرتفعات وايت *White Mts* فى غرب الولايات المتحدة الأمريكية .

ثالثا : الانزلاقات الأرضية *Landslides* :

استخدم الأستاذ «شارب» تعبير الانزلاقات الأرضية لكى يشير الى عدة ظواهر جيومورفولوجية متنوعة ، تختلف من حيث نشأتها وصورها عن الظاهرات الأخرى التى سبق الحديث عنها . أما عملية الانزلاق نفسها فتتميز هى الأخرى بأنها تتم بسرعة وأن حدوثها يعد فجائيا على الرغم من أن المواد التى تتأثر بهذه العملية أقل تشبعا بالمياه إذا ما قورنت مثلا بدرجة تشبع المواد التى تتألف منها حركة انسياب المواد الطينية .

وقد درس الكاتب الظاهرات الجيومورفولوجية الناجمة عن عمليات الانزلاق الأرضى على السفوح الجنوبية الشرقية لمرتفعات البنين البريطانية *The Pennines* فى جنوب غرب مقاطعة يوركشير *Yorkshire* وذلك فى عام ١٩٦٤ . وقد تبين أن نشأة عملية الانزلاق نفسها ترجع إلى تأثير المناخ شبه الجليدى البارد فى عصر البلايوستوسين *Periglaciated Climatic Conditions* (حيث يقع الإقليم مجاورا للركامات النهائية للجليد) وأهم ما نجم عن حدوثها هو انزلاق الكتل الصخرية إلى المنحدرات السفلى على شكل حواجز منزلقة *Slide Ridges* أدت إلى شدة وعورة وتضرس المناطق التى تأثرت بها من جهة ، وسرعة تراجع الحافات الصخرية *Scarp Recession* من جهة أخرى .

ومن نتائج الأبحاث الحقلية فى حوض نهر ماكيلدن *Mackelden* على السفوح الجنوبية الشرقية لمرتفعات البنين ، تبين أن عملية الانزلاق لم تحدث خلال مرحلة واحدة ، بل دلت اتجاهات حواجزها المنزلقة واختلاف أشكالها على أنها انزلاقات تراجعية *Rotational Landslides* حدثت على فترات متعاقبة . وكلما تنزلق أراضى جديدة من الحافة الصخرية العليا ينجم عن ذلك دفع الحواجز المنزلقة القديمة نحو قاع النهر . ومن دراسة أشكال الحواجز

المنزلقة تبين أن الحواجز التى انزلقت أولا تتميز بأنها مستديرة الشكل ، صغيرة الحجم نسبيا وتحتل الأجزاء الدنيا من المنحدرات ، أما الحواجز الحديثة العمر فتظهر دائما على شكل مخروطات هرمية الشكل غير أن جوانبها المواجه للحافة الصخرية العليا أشد انحدارا من الجوانب الآخر ، هذا فضلا عن كبر حجمها إذا ما قورنت بالحواجز المنزلقة القديمة . أما الحافة الصخرية التى تعرضت لعمليات الانزلاق فيميزها عدة خصائص تتلخص فيما يلى :

١ - تتركب هذه الحافة من صخور صلبة منفذة للمياه وتتعاقب فوق طبقات هائلة السمك من الصخور اللينة (صخور طينية صلصالية) .

٢ - ندرة الغطاء النباتى على أسطح الحافة خاصة عند حدوث علمية الانزلاق .

٣ - تشبع طبقة الصخور الطينية المرتفعة السمك بالمياه .

٤ - يبلغ أنحدار سطح الحافة الشديد الانحدار نحو ٣٥° .

٥ - تميل الطبقات الصخرية فى الاتجاه إلى انزلقت إليه الأرض ، أو بمعنى آخر تعد هذه الحافات أسطح شديدة الانحدار تقطع ميل الطبقات *Dip-slope Bluff* ، وليست حافات صخرية فى عكس اتجاه ميل الطبقات *Anti-dip Slope Scarps* كما هو الحال بالنسبة لحافات الكوستات .

٦ - تمتد فوق أعالى الحافات عديد من الأودية النهرية التى تشق طبقات اللبد النباتى *Peat* ، وتتبع مجاريها ميل الطبقات *Dip-type Cloughes* وقد ساعدت هذه الأنهار على ازدياد درجة تشبع الطبقات الصلصالية الطينية السفلى بالمياه بعد نفاذها من الطبقات المسامية الصلبة العليا .

٧ - تبعا لتعرض الحافة لعمليات الانزلاق فقد تميزت بظهورها على شكل أقواس متجاورة ، أو على شكل نعل الفرس *Horse-shoe* . وحيث إن هذه الحافة تعلو الحواجز المنزلقة وتضمها جميعا تحت أقدامها ، فقد استخدم أحيانا تعبير «تاج الأراضى المنزلقة *The crown of the landslides*»

لكى يميز بين الحافات التى تعرضت لعمليات الانزلاق عن غيرها من الحافات الصخرية الأخرى . وقد درس الباحث أيضا هذه الظاهرة بشئ من التفصيل فى مرتفعات لبنان الغربية (١) .

وإلى جانب عمليات الانزلاق الأرضى الفجائية النشأة يمكن اضافة عمليات التساقط *Falling* إلى هذه المجموعة كذلك . وتبعا لاختلاف أشكال حركات الانزلاق والتساقط الفجائية يمكن تمييز خمس مجموعات مختلفة منها تتلخص فى الآتى :

١ - الانزلاقات الثانوية الصغيرة الحجم *Slump* :

لا تختلف هذه الانزلاقات عن تلك الكبرى التى سبق الحديث عنها من حيث تركيبها أو نشأتها الا أنها أقل حجما وتشغل مناطق محدودة المساحة . وتبعا لحدوثها خلال مراحل زمنية متعاقبة فتتخذ حواجزها المنزلقة ، الشكل السلمى أو تبدو على شكل مدرجات صغيرة . وتنتمى معظم الانزلاقات الأرضية فى الجزر البريطانية إلى هذه المجموعة ، وقد درس الكاتب مظاهرها الجيومورفولوجية فى وادى نهر موص *Moss Valley* فى شمال شرق مقاطعة داربى شير بانجلترا عام ١٩٦٢ (٢) ، كما تشكل هذه الانزلاقات الجزء الأعلى من وادى درونت *Derwent* ، وأجزاء من هضبة دارتمور ، وجزيرة وايت *Isle of Wight* فى انجلترا . والقسم الأوسط من حوض نهر الجوز فى لبنان .

---

(1) Abou El-Enin, H. S., "Essays on the geomorphology of the Lebanon" Beirut (1973) pp. 314.

(2) Abou - El-Enin, H. S., "The geomorphology of the Moss Valley, with some consideration of its wider regional significance" M. A. Thesis Univ. of Sheffield, 1962.

٣ - انزلاق المفتتات الصخرية *Debris Slides* :

تختلف الظاهرات الجيومورفولوجية الناجمة بفعل انزلاق المفتتات الصخرية عن تلك التى تنشأ تبعا لانزلاق الأرض ، حيث إن الأولى لا يحدث فيها حركة خلفية للمواد المنزلقة ، بل تتدفق المفتتات الصخرية على المنحدرات وتبدو على شكل قباب أو تلال مستديرة ، وتنزلق من أعلى إلى أسفل مع اتجاه الانحدار العام وبمساعدة فعل الجاذبية الأرضية . وإذا تساقطت هذه المواد الصخرية من فوق حافات صخرية عالية ، وتجمعت تحت أقدام هذه الحافات ، فتعرف العملية فى هذه الحالة باسم (٣) تساقط المفتتات الصخرية *Debris Fall* :

٤ - انزلاق الكتل الصخرية *Rock Slides* :

يقصد بهذا التعبير انزلاق الكتل الصخرية وتحركها بمفردها مع الانحدار العام فوق أسطح طبقات صخرية دون مساعدة أى من عوامل التعرية المختلفة . وتحدث هذه العملية فى الطبقات الصخرية التى تعرضت للتفتت والتفكك بفعل الشقوق والفوالق الكثيفة *Heavily cracked and jointed rocks* . وفى الواقع تعد هذه العملية نادرة الحدوث وذلك يرجع إلى صعوبة ملاحظة نشأتها فى الحقل ، إلا أنه من بين أحسن أمثلتها انزلاق الكتل الصخرية فى منطقة جرس فنتر *Gros Ventre* فى مقاطعة وايومنج فى غرب الولايات *Wyoming* المتحدة الأمريكية وذلك فى عام ١٩٢٥ . كما تأثرت مرتفعات ترتيل *Turtle Mountains* حول مدينة فرانك *Frank* بولاية ألبرتا *Alberta* بحدوث هذه العملية فى بعض أجزاء منها وذلك فى عام ١٩٠٣ .

٥ - تساقط الكتل الصخرية *Rock Falls* :

يزداد حدوث فعل التساقط فى المناطق الجبلية المرتفعة حيث كثيرا ما تسقط الكتل الصخرية من أعالى الحافات الصخرية إلى ما تحت أقدامها وتعرف هذه الحالة باسم تساقط الصخور *Rock Fall* . أما إذا تعرضت أجزاء

من رواسب التربة إلى فعل التساقط فيطلق عليها فى هذه الحالة اسم تساقط التربة *Soil Fall* . وتتم عملية التساقط نفسها بواسطة فعل الجاذبية الأرضية دون تدخل عوامل النقل الأخرى . وبالتالى تحدث العملية فجأة ، ويستغرق حدوثها ثوان معدودات ، ومن ثم كان من النادر أن نرى هذه العملية أثناء حدوثها فى الحقل . ومع ذلك فقد دلت الدراسات الجيومورفولوجية على نشأتها تبعا للظواهر الثانوية التى تنجم عن حدوثها .

وتختلف أشكال الحافات الجبلية التى تعرضت لعمليات تساقط الصخر عن تلك التى تشكلت بواسطة الانزلاقات الأرضية . فتغير العملية الأخيرة فى شكل الحافات وتجعلها كما سبقت الاشارة من قبل تبدو على شكل أقواس متجاورة ولكن لا ينجم عن فعل تساقط الكتل الصخرية من الحافات الجبلية العالية تكوين مثل هذه الأقواس المنحنية ، بل يتشكل مظهر الحافات الجبلية تبعا لمدى تأثرها بفعل الشقوق وفتحات الفوالق فى صخورها . ومن بين أهم العوامل التى تساعد على حدوث فعل تساقط الصخور ما يلى :

أ – اختلاف التكوين الجيولوجى للصخور حيث ترتكز طبقات صلبة (حجر رملي) ، تجزأت بفتحات الشقوق والمفاصل فوق طبقات لينة (صلصال) . وعندما تتآكل الطبقات اللينة يختل توازن الطبقات العليا المفككة ، وتتعرض كتل صخورها لفعل التساقط

ب – تعرض الكتل الصخرية المشققة *Jointed Rocks* إلى توالى فعل التجمدوالانصهار *Freez-Thaw Action* ، الذى يساعد على تفكيك الكتل الصخرية ، وتعرضها بعد ذلك لعمليات التساقط

رابعا : حركات الهبوط الأرضية *Subsidence* :

تختلف عملية هبوط الأرض عن بقية العمليات التى سبق الحديث عنها وذلك فى أنها لا تحدث على السفوح الشديدة الانحدار ولا يرتبط موضوعها بوقوع الحافات الصخرية العالية بجوارها وتحدث حركة هبوط الأرض تحت الظروف التالية :

١ - فى الأراضى السهلية السطح عند ازالة التكوينات الصخرية السفلية التى كانت ترتكز عليها ، وينجم عن اختلال التوازن فى هذه الحالة هبوط كتلة الأرض من أعلى إلى أسفل فى حركة رأسية دون حدوث زحزحة جانبية .

٢ - فى المناطق الجليدية عندما ترتكز رواسب الطفل الجليدى لظاهرة القدور الجليدية *Kettles* فوق الجليد نفسه وعندما يتعرض الجليد للانصهار يختل التوازن وتهبط الرواسب الجليدية فى حركة رأسية من أعلى إلى أسفل .

٣ - فى مناطق الكارست الجيرية ، حيث تعمل التجوية الكيميائية وأثر فعل المياه الجوفية على حفر الكهوف الأرضية . وقد ينتج عن توالى عمليات التجوية الكيميائية تآكل صخور أسقف الكهوف ويختلف توازنها وتتعرض للهبوط .

٤ - فى المناطق التى تنتشر فيها المناجم حيث كثيرا ما يحدث تساقط أسقف المناجم تبعا لاختلال التوازن وتهبط الكتلة الصخرية العلوية بعد ازالة الكتل الأخرى السفلية التى كانت ترتكز عليها .

٥ - فى بعض أجزاء من الطرق البرية ، نتيجة لشدة حركة المرور عليها قد ينتج عن الضغط الواقع على الطرق هبوطها إلى أسفل خاصة عندما يختل توازن أسطح الطرق بعد تآكل المواد تحت السطحية التى تبطن أرضية الطريق .

الفصل الثالث عشر
منحدرات سطح الأرض

دراسة منحدرات سطح الأرض من الموضوعات الحديثة فى الدراسة الجيومورفولوجية . وعلى الرغم من أن وليم موريس دافيز قد أشار إلى أشكال منحدرات وادى النهر خلال مراحل نموه المختلفة ، وأن ألبرخت بينك عنى كذلك بدراسة أشكال المنحدرات فى المناطق المعتدلة الباردة الا أن هذا الموضوع لم ينل نفس الاهتمام الذى وجهه الباحثون إلى الموضوعات الأخرى فى علم الجيومورفوجيا . وكانت بداية دراسة المنحدرات كذلك دراسة وصفية حقلية تعتمد على تميز أشكال المنحدرات *Slope forms* وقطاعاتها المختلفة *Slope profile* ، غير أن الدراسة الجيومورفولوجية الحديثة لمنحدرات سطح الأرض أصبحت تعتمد اليوم على الأساليب الكمية (١) . وقبل الحديث عن قطاعات المنحدرات فى الأقاليم الموفومناخية المختلفة ، والعوامل التى تؤثر فيها يحسن أولا الإشارة إلى أشكال المنحدرات وكيفية تمييزها فى الحقل والرموز التى تعبر عن كل شكل منها .

أولا : أشكال منحدرات سطح الأرض ورموزها الجيومورفولوجية :

يستخدم بعض الباحثين عند دراسة منحدرات الأرض فى الدول الأوربية وفى الولايات المتحدة الأمريكية رموزا مختلفة لتعبر عن أشكال منحدرات سطح الأرض *Slope forms* . وعلى ذلك دعى الأستاذ دافيد لينتن *D. L. Linton* فى الخمسينات (أستاذى وهو أحد علماء الجيومورفولوجيا ـ جامعة

---

(1) a - Carson M. A. Kirby, M. T., "Hillslope form and Process". Cambrige Univ. Press, 1972.
b - Scheldegger A. E., "Theoretical geomorphology" sec ed., New York. 1970.

شيفيلد ـ انجلترا) إلى ضرورة استخدام رموز جيومورفولوجية موحدة عالميا بحيث تعبر عن أشكال منحدرات سطح الأرض ، وللاستعانة بها عند انشاء خريطة أشكال منحدرات سطح الأرض فى الجزر البريطانية . وعقد قسم الجغرافيا ـ جامعة شيفيلد ـ عدة اجتماعات لهذا الغرض ، وفى الاجتماع الأخير فى يوليو ١٩٥٩ ، عرضت هذه اللجنة الجيومورفولوجية بالقسم (١) تحديد معانى المصطلحات العلمية المستخدمة فى دراسة منحدرات سطح الأرض خاصة . ويمكن أن نلخص بعض المصطلحات المهمة الخاصة بأشكال المنحدرات (٢) فيما يلى :

المنحدر : *A slope* سطح من الأرض ينحدر عن المستوى الأفقى لسطح الأرض بدرجة لا تزيد عن ٤٠° .

الحافة والجرف : *A scarp and a cliff* كل منهما عبارة عن سطح من الأرض رأسى أو شبه رأسى الامتداد تزيد درجة انحداره عن المستوى الأفقى لسطح الأرض بأكثر من ٤٠° .

الواجهة المستوية : *A Facet* سطح مستوى الامتداد قد يكون أفقيا أو مائل الامتداد ولكنه منتظم الشكل .

«عنصر» انحدار السطح *An element* سطح من الأرض قد يكون منحنيا انحناء بسيطا جدا سواء أكان هذا الانحناء مقعراً أو محدبا .

---

(١) كانت هذه اللجنة تتشكل من الأساتذة الجيومورفولوجيين بجامعة شيفيلد وهم : سافيجر R. A. G. Savigear ووترز R. S. Waters والآن سترو Allan Straw ومالكم لويس G. M. Lewis وكان يساعدهم أساتذة من خريجى القسم ومنهم بريدج E. M. Bridges وكلايتون K. M. Clayton وأنطونى يانج A. Yang وجونسون R. H. Johnson وكان يعمل جميعهم تحت اشراف الأستاذ العالم دافيد لينتن D. L. Linton .

(2) "Land Form Survey", The Geographical Association Geog. Dept. - University of Sheffield - Report - July 1959.

الانحدار الحقيقى (١) لسطح الأرض : *An element* هو اتجاه *direction* ومقدار *amount* أو درجة *degree* انحدار سطح الأرض عن المستوى الأفقى ، ويوضح الاتجاه عن طريق الأسهم ، فى حين توضح درجة الانحدار بالدرجات بعد قياسه فى الحقل باستخدام الة قياس المنحدرات *Abney level* ، ويقاس الانحدار الحقيقى على أسطح الواجهة المستوية أو أى عنصر آخر من عناصر انحدارات السطح .

الانحدار الظاهري لسطح الأرض *An apparent slope* :

هو اتجاه ومقدار أو درجة انحدار سطح الأرض عن المستوى الأفقى ، مقاسا على الواجهة المستوية أو على أى عنصر آخر من عناصر انحدارات سطح الأرض ، ولكن فى اتجاه يختلف عن اتجاه الانحدار الحقيقى لسطح الأرض .

التغير الوا ضح في الانحدار *A break of slope* :

يقصد به التغير الواضح فى منحدرات سطح الأرض نتيجة لانتقال مظهر الانحدار من حالة إلى حالة أخرى . فعند تغير الانحدار الشديد *very steep inclination* إلى انحدار بسيط جدا *Very gentle inclination* تمثل منطقة الاتصال بينهما منطقة التغير الواضح فى انحدار سطح الأرض وتكون هذه المنطقة الأخيرة فى هذه الحالة عبارة عن انحدار مقعر واضح *Concave break of slope* .

أما إذا كان التغير من انحدار بسيط جدا ثم انتقل إلى انحدار شديد جدا (فى اتجاه الانحدار إلى أسفل *down slope*) ، فإن منطقة الاتصال بينهما وهى منطقة التغير الواضح فى انحدار سطح الأرض تكون عبارة عن انحدار محدب واضح *Convex break of slope* .

---

(١) يلاحظ أن انحدار سطح الأرض يعرف بتعبير Slope أما ميل الطبقات الصخرية فيعرف بتعبير Dip.

التغير البسيط في الانحدار *A change of slope* :

يرمز الى نفس الحالة السابقة عند تغير درجة الانحدار واتجاهه ولكن يحدث التغير أو الانتقال هنا بصورة تدريجية بسيطة ، ومن ثم فإن منطقة الاتصال بين المنحدرين المختلفين تكون بارزة أو واضحة تماما حيث تتميز بانحدارات بسيطة «ناعمة» *Smooth* وقد يطلق أيضا على تلك المنطقة الصغيرة من سطح الأرض والفاصلة بين المنحدرين المختلفين تعبير «الأرض غير المنحدرة» *Inflexion* .

الى جانب تحديد المصطلحات العلمية المستخدمة فى دراسة المنحدرات اقترحت اللجنة الجيومورفولوجية بجامعة شيفيلد رموزا لعناصر منحدرات سطح الأرض يكاد يكون استخدامها اليوم استخداما عالميا وتتلخص هذه الرموز فى أشكال (٥٦ ، ٥٧ ، ٥٨ ، ٥٩) .

ويوضح شكل (٥٦) الرموز التى يمكن أن تستخدم فى حالة المنحدرات المحدبة والتمييز بين كل من :

أ - انحدار محدب بسيط جدا *Very gentle convex slope*
ب - انحدار محدب بسيط *Smooth or gentle convex slope*
جـ - انحدار محدب *Convex slope*
د - انحدار محدب واضح *Definite convex slope*
هـ - انحدار محدب واضح جدا *Very definite convex slope*
و - أشد الانحدارات تحدبا *The most definite convex slope*

ويوضح شكل (٥٧) الرموز التى يمكن أن تستخدم فى حالة المنحدرات المقعرة والتمييز بين كل من:

أ - انحدار مقعر بسيط جدا *Very gentle concave slope*
ب - انحدار مقعر بسيط *Smooth or gentle concave slope*
جـ - انحدار مقعر *Concave slope*

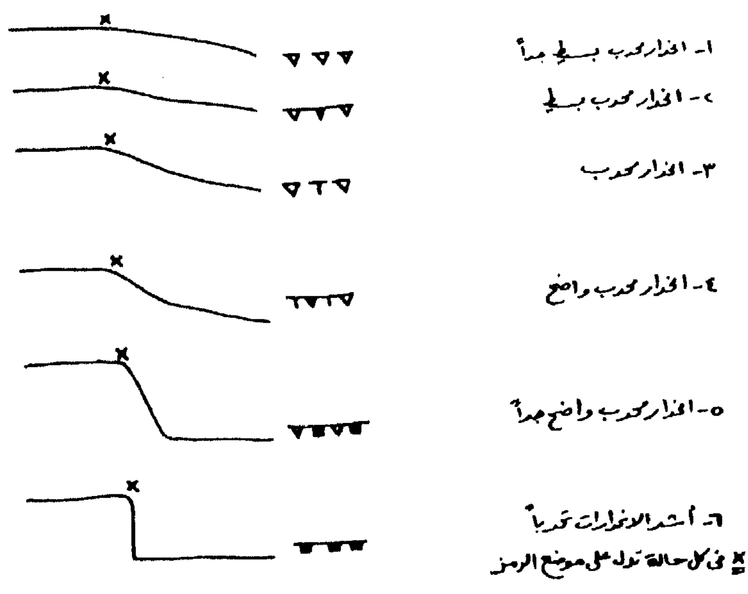
د – انحدار مقعر واضح *Definite concave slope*

هـ – انحدار مقعر واضح جدا *Very definite concave slope*

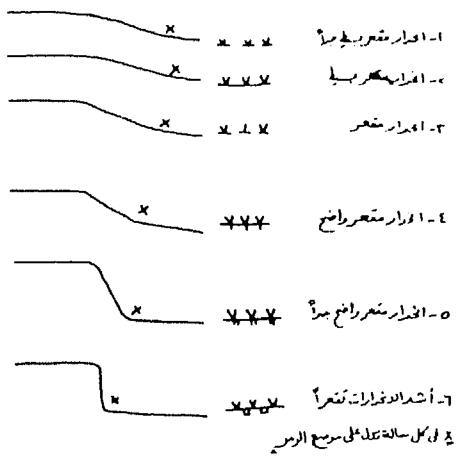
و – أشد الانحدارات تقعرا *The most definite concave slope*

ويوضح شكل (٥٨) الرموز التى يمكن أن تستخدم لكى تعبر عن شكل انحدارات مجرى النهر وأرضيته ، فى حين يوضح شكل (٥٩) الرموز التى يمكن أن تستخدم لكى تعبر عن أشكال منحدرات الحواجز والتلال والحافات الصخرية .

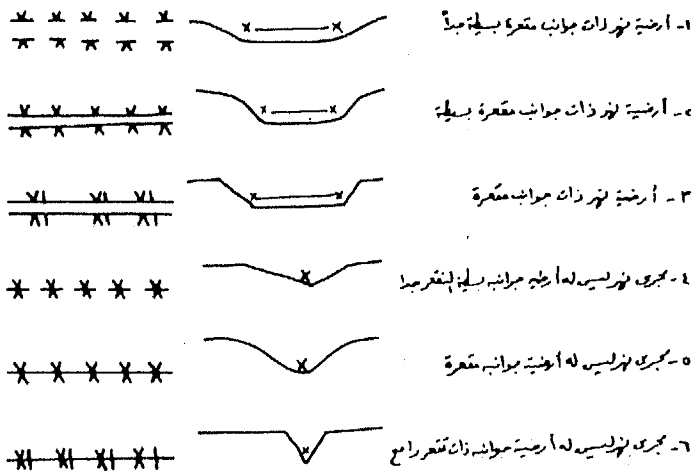
وقد سبقت الاشارة من قبل إلى بعض هذه الرموز المختلفة لانحدارات سطح الأرض والتى يمكن أن يستخدمها الباحث الجيومورفولوجى بالاستعانة بالخرائط الطبوغرافية التفصيلية بقصد انشاء الخرائط الجيومورفولوجية *Geomorphographic Maps* وتصور هذه الخرائط انحدارات سطح الأرض ويستمد الباحث منها الكثير من المعلومات الجيومورفولوجية التى قد تهمه فى الدراسة .



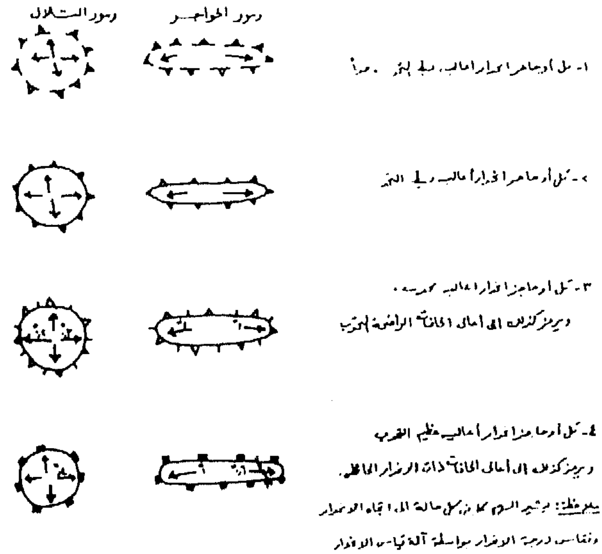
(شكل ٥٦) أشكال المنحدرات المحدبة



(شكل ٥٧) أشكال المنحدرات المقعرة



(شكل ٥٨) أشكال المنحدرات المرتبطة بالمجرى النهرى وجوانبه



(شكل ٥٩) أشكال المنحدرات المرتبطة بالحواجز والحافات والتلال

وعلى ذلك فقد أوضحت اللجنة مقترحاتها عن الرموز التى يمكن أن تستخدم لكى تعبر عن أشكال المنحدرات المختلفة ، فى أشكال توضيحية مجسمة يظهر على كل منها بعض رموز المنحدرات الخاصة بهذا الشكل ، حتى يتسنى للباحثين معرفة كيفية توقيع الرموز المختلفة فى مواقعها الفعلية على الخريطة الطبوغرافية فى الحقل .

ويوضح شكل (٦٠ أ) رموز منحدرات سطح الأرض فى حالة المنحدرات المستقيمة الامتداد ، فى حين يوضح شكل (٦٠ ب) رموز منحدرات سطح الأرض فى حالة المنحدرات المحدبة *Convex Association* . وتختلف تلك المنحدرات المحدبة تبعا لاختلاف أشكالها ومدى بروزها على سطح الأرض ، ومن ثم فإن لكل منحدر محدب رمز خاص به كما يتضح من الرسم ، أما شكل (٦٠ جـ) فيوضح رموز منحدرات سطح الأرض فى حالة المنحدرات المقعرة *Concave Association* وكيفية توقيع كل رمز من رموز أشكال المنحدرات فى موقعه الصحيح .

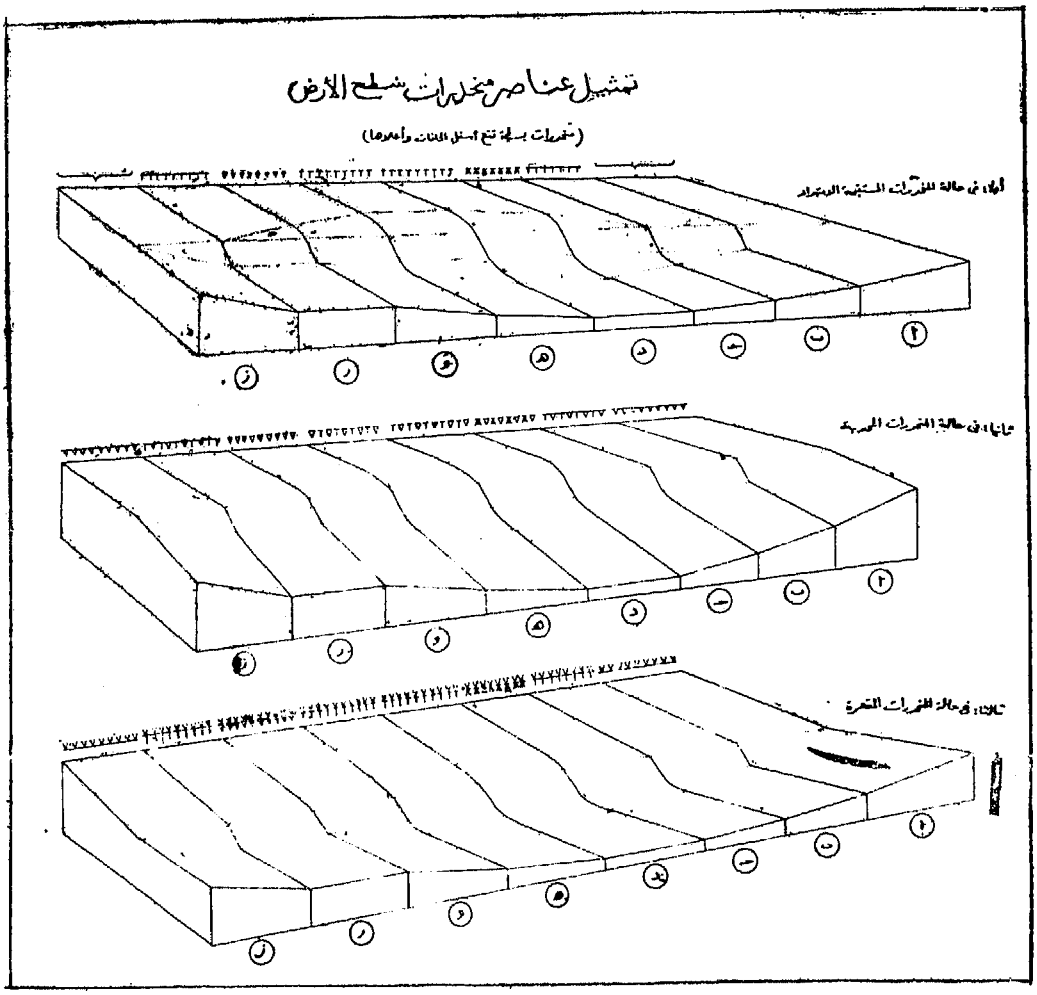
ويوضح شكل (٦١ أ) رموز منحدرات سطح الأرض فى حالة المنحدرات المستقيمة الامتداد المرتبطة بمناطق الحافات الصخرية الرأسية فى حين يوضح شكل (٦١ ب) رموز منحدرات سطح الأرض فى حالة المنحدرات المحدبة الشديدة الخاصة بالحافات الصخرية والجروف *Scarps and Cliffs* الشديدة الانحدار . وتختلف كذلك تلك المنحدرات المحدبة على طول أجزاء أسطح الحافات تبعا لاختلاف أشكالها ومدى بروزها على سطح الأرض ، ومن ثم فإن لكل منحدر محدب على طول جزء ما من الحافة رمزه الخاص به كما يتضح فى الرسم . أما شكل (٦١ جـ) فيوضح هو الآخر رموز منحدرات سطح الأرض فى حالة المنحدرات المقعرة التى تتمثل تحت أقدام الحافات .

ثانيا : قطاعات منحدرات سطح الأرض *Slope Profiles* :

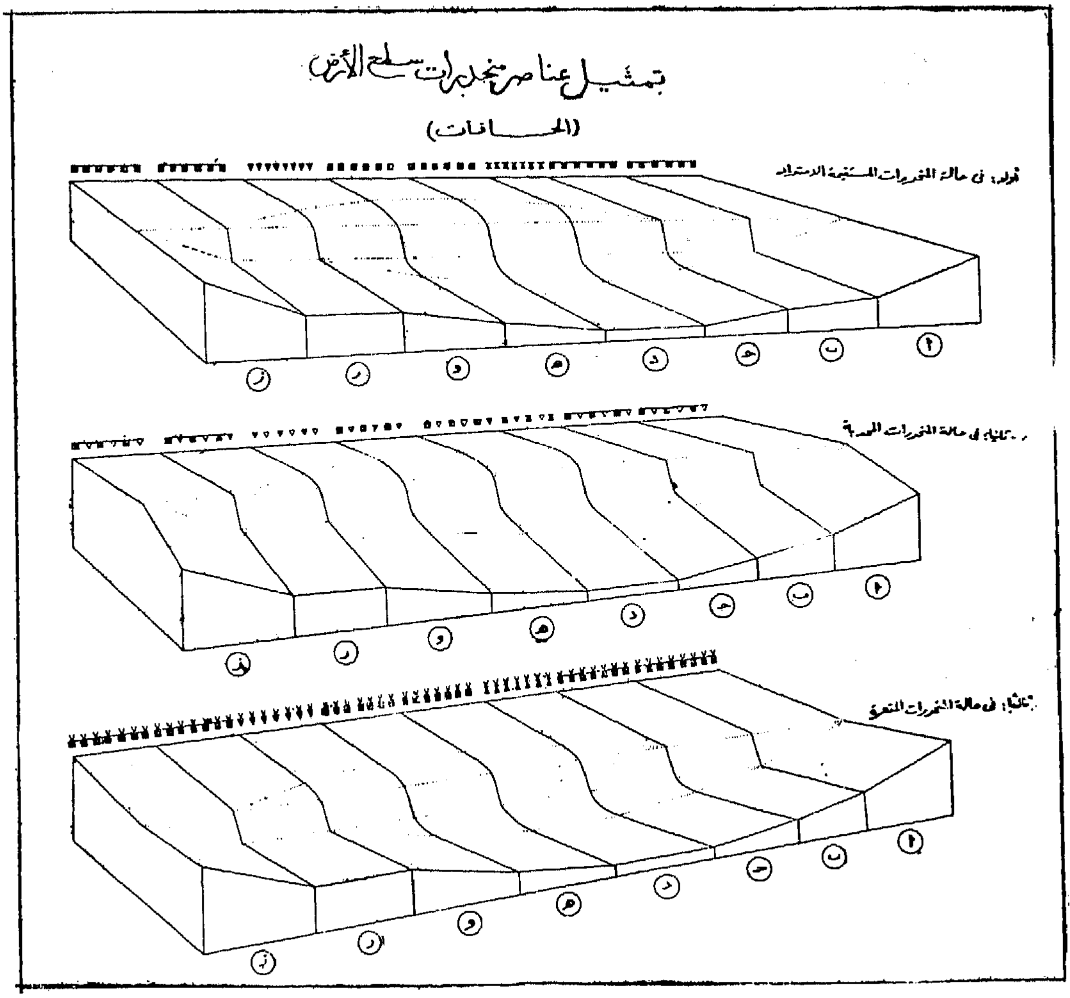
درس العالم وليم موريس دافيز *W. M. Davis* (١) أشكال منحدرات سطح الأرض وقطاعاتها المختلفة عند حديثه عن تطور جوانب المجارى النهرية أثناء الدورة التحاتية . وقد أوضح دافيز بأن سطح الأرض أثناء الدورة التحاتية البسيطة *Normal Cycle* يبدأ على شكل انحدار شديد مستقيم الامتداد ومنتظم إلى حد كبير ، ثم بفعل النحت فى أعالى المنحدرات وهى المنطقة التى يشتد عندها فعل الغطاءات المائية والتجوية وزحف المواد تتكون المنحدرات المحدبة فى حين تتألف الأجزاء الدنيا من جوانب النهر من منحدرات مقعرة تبعا لتجمع تلك الرواسب وتراكمها . وتكون درجة التحدب والتقعر شديدة فى مرحلة الطفولة حتى بداية مرحلة الشباب ثم تصبح درجتهما بسيطة فى مرحلة الشيخوخة . وقد عبر دافيز عن ارائه فيما يتعلق بأشكال قطاعات المنحدرات بواسطة رسم أشكال مجسمة . إلا أن أهم الآراء المتداولة بين الجيومورفولوجيين فى الوقت الحاضر والمتعلقة بدراسة منحدرات سطح الأرض وقطاعاتها المختلفة تعتمد أساسا على تلك التى رجحها كل من فالتر

---

(1) Davis, W. M. "Geographical Essays". ed . by D. W. Johnson, Dover, N. Y. 1954.



(شكل ٦٠) توقيع منحدرات سطح الأرض المستقيمة والمحدبة والمقعرة
في حالة المنحدرات المتوسطة



(شكل ٦١) توقيع منحدرات سطح الأرض المستقيمة والمحدبة والمقعرة في حالة المنحدرات المرتبطة بمناطق الحافات الرأسية

بينك [١] W. Penck ، وآلان وود [٢] Alan Wood, 1942 ولستر كينج [٣] L. C. King 1953 هذا إلى جانب بعض المقترحات التوضيحية التى عرض لها كثير من الباحثين الآخرين ومن بينهم فينمان [٤] Fenneman ، ولاوسون [٥] Lawson .

آراء فالتر بينك *The Views of W. Penck* :

تتلخص آراء فالتر بينك فى كتابه المشهور *Die Morphologische Analyse, 1924.* المعروف باسم «التحليل الجيومورفولوجى لسطح الأرض» والذى ترجم إلى اللغة الانجليزية عام ١٩٥٣ ، ونتج عن ذلك انتشار آراء فالتر بينك فى كل من انجلترا والولايات المتحدة الأمريكية .

وتعتمد دراسات فالتر بينك على تحليل عمليات تعرية أو تخفيض تكوينات سطح الأرض *Aufbereitung-reduction* ، ثم مدى تعرض تلك المواد الناتجة عن عمليات التعرية أو التخفيض لفعل التحرك *Mass Movement* . وقد أوضح فالتر بينك بأن تآكل جوانب المنحدرات الجبلية يتأثر بشكل واضح بفعل الجاذبية الأرضية من ناحية وفعل التعرية *Abtragung-denudation* من ناحية أخرى . ويقصد فالتر بينك بهذا التعبير

---

(1) Penck, W., 1924 "Morphological analysis of land forms" English Trans. by H. Czech K. C. Boswell. London, 1953.

(2) Wood, A, "The development of hill side - slopes" Proc. Geol, Assoc. Vol. 53 (1942) 128 - 140.

(3) King. L. C. "Canons of landscape evolution", Bull Geol. Soc. Amer. vol. 64 (1953) 721 - 752.

(4) Fenneman, N. F., "Some features of erosion by unconcentrated wash", Jour. Geol. vol. 16 (1908).

(5) a - Lawson, A. G., "Rain wash erosion in humid regions" Bull. Geol. Soc. Amer., vol 43 (1932), 703 - 724.

b - Lawson, A. G., "The epigene profiles of the desert" Univ. California, Dept. Geol. No. 9 (915), 23 - 49.

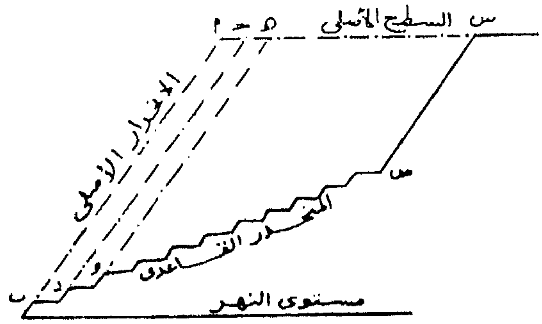
الأخير ، التعرية المحلية للمنحدرات التى تتأثر بمدى الارتفاع المحلى للمنحدرات عن الأرض السهلية المجاورة ، ومدى شدة درجة الانحدار وتعرضه لعمليات زحف المواد والانزلاق والتساقط ، ولم يقصد به الفعل الناتج عن التعرية النهرية . وقد لخص فالتر بينك آراءه عن قطاعات المنحدرات باستخدام أشكال توضيحية هندسية إلى درجة كبيرة ويمكن أن نلخصها فيما يلى :

(١) في حالة المنحدرات المقعرة *Concave breaks of gradient* :

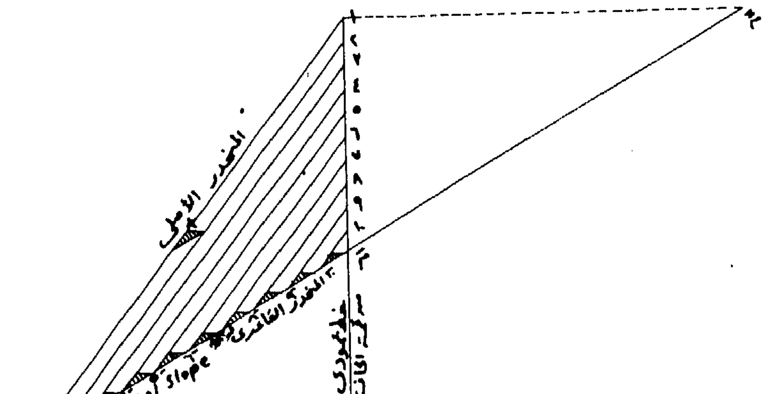
ميز فالتر بينك بين كل من الانحدار الأصلى *original slope* الذى كان يظهر به المنحدر عند بداية تكوينه ، والسطح الأصلى *original surface* الذى يمثل السطح العلوى الذى كان يعلو الانحدار الأصلى ، ثم تراجع كل من المنحدر الأصلى والسطح الأصلى إلى الخلف ويحل محلهما سطح جديد متراجع أطلق عليه تعبير المنحدر القاعدى *Holdenhang-Basal slope* ويختلف مدى التراجع فى حالة ما إذا كان المنحدر الأصلى يقع فوق منسوب مجرى نهرى أو تأثر بالنحت الرأسى (البسيط أو الشديد) للمجرى النهرى المجاور . كما يتشكل المنحدر المتراجع بقطاعات مختلفة فى حالة ما إذا كان السطح الأصلى شديد الانحدار أو بسيط الانحدار وقد ينتج فى النهاية منحدر قاعدى متراجع مصطبى الشكل ، أو على شكل منحدرات مقعرة أو منحدرات محدبة (شكل ٦٢) .

ويوضح شكل (٦٣) كيفية تراجع المنحدر الأصلى (م أ) إلى الخلف ويلاحظ فى هذه الحالة أن الانحدار كان فى البداية منتظما *Uniform* ، وعلى فرض أن التكوينات الصخرية لأجزاء المنحدر متجانسة ، ولم يتأثر التراجع الخلفى للمنحدر هنا بالنحت الرأسى للأنهار حيث إن أجزاء المنحدر تقع أعلى من منسوب النهر .

وعلى ذلك يتراجع المنحدر إلى الخلف (بفعل الجاذبية الأرضية والتجوية وزحف المواد) بدرجات متساوية من ٢َ إلى ٣َ ، ٤َ ، ٥َ ، وكذلك ينخفض



(شكل ٦٢) آراء فالتر بينك فيما يتعلق بتراجع الانحدار الأصلى وتكوين المنحدر القاعدي



(شكل ٦٣) مراحل تراجع المنحدر الأصلى وتكوين المنحدر القاعدي حسب دراسات فالتر بينك

منسوب الحافة ويتآكل السطح الأصلي وينخفض المنسوب من ١ إلى ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ وهكذا . ومع تراجع المنحدر الأصلي يزداد تكوين المنحدر القاعدى *Holdenhang-Basal slope* (م م) والذى يبدو شكله فى النهاية على شكل انحدار مقعر . ويلاحظ أن التراجع الخلفى للمنحدر الأصلى فى هذه الحالة لا يتأثر بمستوى منسوب النهر ، ولكنه يتأثر باختلاف منسوب المستوى المحلى الذى يعتبره فالتر بينك بأنه منسوب ذلك المنحدر الذى يقع إلى أعلى مباشرة من المنحدر القاعدى الجديد . كما يتبين بأن عملية تآكل المنحدر الأصلى وتسويته *Abflachung-Flattening* ، تحدث عند أسفل المنحدر ومن ثم تتآكل الصخور ، ويتراجع المنحدر من أسفل إلى أعلى وإلى الخلف وينمو بذلك المنحدر القاعدى على حساب تآكل المنحدر الأصلى .

ويوضح شكل (٦٤) التراجع المتوازى *parallel retreat* للانحدار الأصلى عندما يتأثر بفعل النحت الرأسى للنهر *deep incision* وينتج عن زيادة تعميق

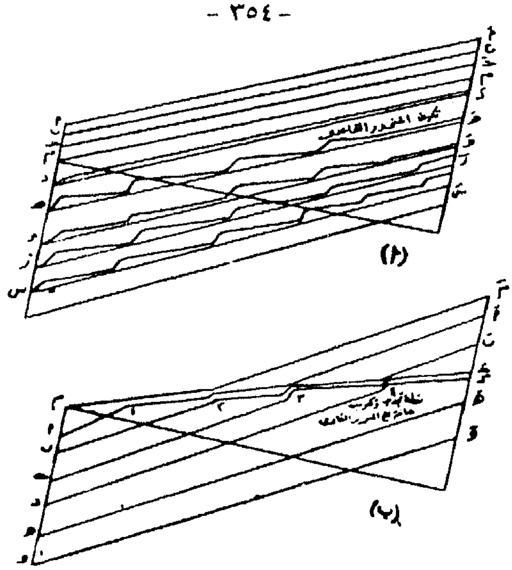
النهر لمجراه من المستوى م إلى المستوى الرأسى أ ، ب ، جـ أن يتراجع المنحدر الرأسى خلفيا بدرجة سريعة ويكون أسطح هذا التراجع متوازية كما يتضح ذلك من الأسطح المتراجعة رقم ٢ ، ٣ ، ٤ . وتكون قاعدة المنحدر القاعدى *Basal Slope* فى هذه الحالة أكثر انخفاضا عما كانت عليه فى الحالة الأولى (شكل ٦٢) الذى لا يتأثر فيها المنحدر الأصلى بفعل النحت الرأسى للنهر المجاور .

(٢) في حالة المنحدرات المحدبة *Convex breaks of gradient* :

يعتقد فالتر بينك بأن نمو المنحدرات المحدبة يعتمد على المفهوم الذى ينص على أن درجة الانحدار تتوقف على مدى فعل التعرية .

"Development of convex breaks of gradient might be deduced directly from the law that gradient of slopes is determined by the intensity of erosion".

ويؤكد فالتر بينك بأنه إذا كان المنحدر يتألف من انحدار مستقيم الامتداد ويرتفع منسوبه فوق منسوب مجرى النهر المجاور ، فإن هذا المنحدر يتراجع خلال ثلاث فترات زمنية متعاقبة من المنحدر الأصلى *initial slope* (أأ) إلى المنحدر الجديد (م م) وهو يمثل مقدار المستوى الرأسى الذى هبط إليه المنحدر من مرحلة أ إلى مرحلة م أى خلال فترة زمنية معينة (شكل ٦٥) . ولكن إذا تعرض النهر لفعل نحت رأسى شديد فإن التراجع الخلفى للمنحدر لا يتوازن فى هذه الحالة مع النحت الرأسى للمجرى النهرى ، وهو ما عبر عنه فالتر بقوله «اختلال التوازن» . وعلى ذلك ينخفض منسوب مستوى القاعدة المحلى إلى المستوى الجديد الذى هبط إليه النهر من م إلى د ومنه إلى هـ ، و ، ر ، ز خلال مراحل متعاقبة . ويلاحظ فى هذه الحالة أن التراجع الخلفى للمنحدر يكون بدرجة أقل من درجة الهبوط الرأسى للتعرية النهرية وعلى ذلك يتكون المنحدر القاعدى *Basal Slope* بدرجة سريعة ويتميز بشدة انحداره ، ويكون له ظهر شديد الانحدار يبدو على شكل حافة رأسية ويتوقف مدى ارتفاعها تبعا



(شكل ٦٥) التراجع المتوازى للانحدار الأصلى عندما يتأثر الانحدار بالنحت الرأسى فى حالة المنحدرات المحدبة :

(أ) فى حالة ما اذا كانت التعرية النهرية الرأسية شديدة .

(ب) فى حالة ما اذا كانت التعرية النهرية الرأسية بسيطة .

لدرجة النحت الرأسى الذى يهبط إليه النهر . ومع كل حركة هبوط رأسى للنهر المجاور يتكون حافة جديدة متراجعة على المنحدر القاعدى ، وتفصل هذه الحافات بين أجزاء المنحدرات المستقيمة الامتداد التى تقع بدورها فيما بين الحافات .

ونتيجة لاستمرار عمليات التعرية النهرية الرأسية من ناحية ، وتكوين الحافات الرأسية على المنحدر القاعدى المتراجع من ناحية أخرى يتكون المنحدر من مجموعة من الانحدارات المحدبة وهكذا يؤكد فالتر بينك مرة أخرى بأن المنحدرات المحدبة تعزى نشأتها إلى حدوث زيادة فى مدى فعل التعرية .

"Convex breaks of gradient owe their origin to an increase in the intensity of erosion"

ويوضح (شكل ٦٥) كيفية تكوين المنحدرات المحدبة على طول المنحدر القاعدى المتراجع فى حالة ما اذا كانت التعرية الرأسية شديدة ، وفى حالة ما اذا كانت التعرية الرأسية محدودة حسب دراسات فالتر بينك .

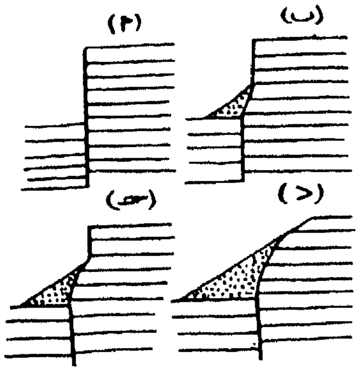
آراء الان وود *The Views of Alan Wood* :

اعتمدت الدراسات الجيومورفولوجية البريطانية الخاصة بتحليل منحدرات سطح الأرض على الدراسات التى قام بها الأستاذ آلان وود [1] *Alan Wood* عام ١٩٤٢ . وقد عنى آلان وود ، بدراسة تراجع واجهات أو الأسطح الرأسية للحافات *Vertical rock faces* بفعل التجوية . وأوضح بأنه ينتج عن تساقط الرواسب وزحفها من أعالى الحافات إلى ما تحت أقدامها تكوين مخروطات ارسابية *scree or talus heap* وتعمل هذه الرواسب المفتتة على حماية القسم الأسفل من المنحدر من فعل التعرية ، وعلى ذلك يصبح هذا القسم من المنحدر على شكل أنف صخرى بارز يقع أسفل الرواسب المتراكمة فوقه .

وقد رجح الأستاذ آلان وود ، بأنه اذا كان تراجع أسطح منحدرات الحافات الصخرية وأن زيادة ارتفاع المواد الارسابية المتراكمة ، تحدث بدرجات متساوية ومنتظمة *constant rate* ، فإن الجزء المدفون من سطح الحافة أسفل الرواسب *buried face* يكون انحداره منتظما *a uniform slope* (شكل ٦٦ ب) . ولكن فى معظم الأحيان تبين أن هذا القسم المدفون من أقدام أسطح الحافات أسفل الرواسب غالبا ما يكون على شكل انحدار محدب *Convex* . وهذا يرجع إلى أن مدى فعل التعرية على أجزاء أسطح الحافات الصخرية *Free Face* ليس متساويا أو منتظماً ، كما أن درجة تراكم المفتتات الارسابية أسفل أسطح الحافة وفوق الجزء المدفون أسفل هذه الرواسب ليست متساوية كذلك . ومن ثم يتحدب شكل المنحدر المدفون ، وتقل درجة التحدب كلما

---

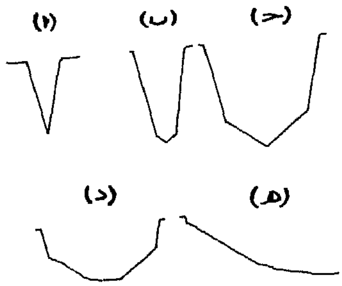
(1) Wood, A., "The development of hillside slopes", Proc. Geol. Assoc. Vol. 53. (1942) 128 - 140.



(شكل ٦٦) تكوين أشكال المنحدرات حسب دراسات آلان وود

تراجعت أسطح الحافات إلى الخلف . ويتوقف شكل ودرجة انحدار سطح الرواسب المتراكمة أسفل أسطح الحافات على التكوين الجيولوجي للرواسب ومدى فعل الجاذبية الأرضية (شكل ٦٦ جـ ، د) .

وقد أوضح الان وود ، كذلك بأن تراجع المنحدرات الجبلية بهذا الشكل لا يقتصر على أسطح الحافات الصخرية فقط ، بل أن جوانب الأنهار المتعمقة *deeply incised* تتراجع خلفيا بدرجات متشابهة لما يحدث لأسطح الحافات الصخرية . ومع زيادة عمليات النحت الرأسي للنهر يتعمق الوادي النهري وتتعرض جوانبه المرتفعة لفعل التجوية والتعرية . ويتسع الوادي (مرحلتا ب ، جـ ــ تابع شكل ٦٦) وبمرور الزمن تتعرض أعالي الجوانب النهرية لفعل التجوية والتعرية معا ، وتتآكل بدرجة أسرع من أي جزء آخر من جانب الوادي النهري ، في حين تتجمع الرواسب والمفتتات تحت أقدام جانب الوادي . وعلى ذلك يتكون في أعالي جانب الوادي النهري انحدرا محدب *Convex* بفعل عمليات التآكل وهو ما أطلق عليه آلان وود تعبير «الانحدار المحدب»



(تابع شكل ٦٦) تكوين أشكال المنحدرات حسب دراسات آلان وود

في حين يتكون تحت أقدام جانب الوادي النهري انحدار *Waxing Slope* مقعر *Concave* بفعل تجمع الرواسب فوق الأجزاء المدفونة من جانب الوادي ، وهو ما أطلق عليه تعبير «الانحدار المقعر» *Waning Slope* (مرحلتا د ، هـ في القسم الأسفل من تابع شكل ٦٦) .

آراء لستر كينج *The Views of L. C. King*:

ظهرت اهتمامات الأستاذ لستر كينج [١] *L. C. King* (أستاذ في جامعة ناتال - في جنوب أفريقيا) عام ١٩٥٣ ، وقد أكد هذا الأستاذ النتائج التي أوضحتها دراسات الأستاذ آلان وود *A. Wood* في أن منحدرات سطح الأرض في المناطق الجبلية تتألف أساسا من أربعة عناصر هي :

(1) King, L. C. "Canon of landscape evolution". Bull. Geol. Soc Amer. vol. 64 (1953), 621 - 652.

أ - المنحدرات المحدبة العليا *Convex or waxing slopes*

ب - أسطح الحافات الرأسية ذات الانحدار الرأسى *Free Face*

جـ - المنحدر المدفون تحت الرواسب *Detrital or Constant slope*

د - المنحدرات المقعرة السفلى *Concave or waning slopes*

وقد أوضح الأستاذ كينج *King* بأنه اذا تعرضت أسطح الحافات الرأسية *Free Foce* للتآكل بشدة ، فإن أسطح المنحدرات المتراجعة فى هذه الحالة تكون متوازية *Parallel retreat* . ومثل هذه المنحدرات التى تتراجع خلفيا بسرعة غالبا ما تتكون تحت أقدامها تراكمات هائلة من الرواسب ذات انحدار مقعر ، وقد تتخذ شكل أسطح البديمنت *Pediment* وإذا استمرت عملية التآكل لمدة زمنية طويلة ، فإن أسطح الحافة الرأسية العليا تتلاشى بالتدريج ، وينتج عن تآكلها وتراجعها وانخفاض منسوبها تكوين منحدرات متعددة مقعرة بسيطة *multiconvex profiles* أو بمعنى آخر *very gentle convex slopes* ، تميز السهول التحاتية العليا *Peneplains* والتى تتمثل فوق أعالى المرتفعات . أما أقدام أسطح الحافات الجبلية فتدفن تحت الرواسب المفتتة المتراكمة فوقها ، وتبعا للتراجع الخلفى للحافات الجبلية يشيع امتداد هذه المنحدرات السفلية ، وتبدو على شكل انحدارات مقعرة متعددة بسيطة *multi-concave profile* أو بمعنى آخر *very gentle concave slope* ، وهذه المنحدرات الأخيرة تكون ما أطلق عليه «كينج» تعبير السهول الجبلية المتراجعة *Pediplain* .

وقد أضاف الأستاذ كينج بأن لإختلاف شكل انسياب المياه الجارية فوق أسطح المنحدرات الجبلية دورها المهم فى مدى فعل التعرية النهرية وزحف المواد على أسطح هذه المنحدرات . وأوضح بأن المياه الجارية فوق المنحدرات الجبلية قد تظهر على صورتين مختلفتين هما:

أ - اما على شكل مياه محددة فى مجارى محفورة *in threads* ومن ثم يكون

انسياب المياه هنا دواميا *Turbulant* ، وتسبب هذه الدوامات المائية في سرعة تآكل المنحدرات ، وزيادة حجم المفتتات الارسابية المنقولة .

ب - وإما على شكل مياه غطائية صفائحية *in sheets* ، غير محددة في مجرى بعينه ، ومن ثم يكون انسياب المياه هنا غطائيا *laminar flow* ، وتقلل هذه العملية من تآكل المنحدرات بفعل التعرية المائية . ولكن ينتج عن انسياب المياه الغطائية فوق مساحات واسعة زيادة انتشار الرطوبة في أجزاء واسعة تحت أقدام الحافات .

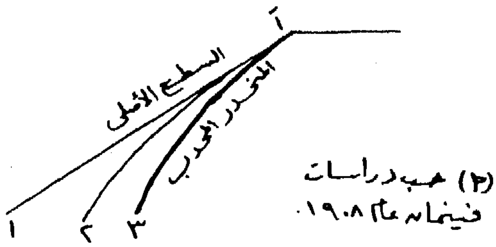
وقد أوضح الأستاذ كوتون (١) *Cotton, 1952* بأن أعالي المنحدرات الجبلية في نيوزيلند تتعرض للتجوية الشديدة ولفعل التعرية ، وبتراجعها الخلفي تتشكل أعاليها بانحدرات محدبة *Upper convexities* ، في حين تتجمع رواسب المخروطات والمفتتات الارسابية فوق الأجزاء الدنيا من الحافات الصخرية ، وتشكلها بانحدرات مقعرة *Lower concavities* .

في حين أوضح الأستاذ فينمان (٢) *Fenneman, 1908* بأن عملية غسل التربة *Soil wash* في القسم الأعلى من أعالي المرتفعات تأخذ اتجاه مختلف عن الاتجاه العام الذي تنحت فيه التربة . فعند مناطق خط تقسيم المياه أوضح فينمان بأن مياه الأمطار الساقطة تنساب هنا إلى أسفل المنحدرات على شكل غطاءات فيضية رقيقة السمك *tiny sheet* ، ومن ثم تصبح عملية غسل المنحدرات العليا غير محددة أو غير مركزة في منطقة معينة *unconcentrated wash* ، وهذه الأمور تقلل من قدرتها على النحت وازالة التربة . وحيث إن المياه المنسابة من أعلى المنحدرات تتجمع بكمية أكبر عند

---

(1) Cotton. C. A., "The erosional grading of convex and concave slopes" Geog. Jour 118 (1952). 197 204

(2) Fenneman, N. F. "Some features of erosion by uncon centrated wash". Jour. Geol 16 (1908). 754 764





(شكل ٦٧) تكوين المنحدر المحدب أ - حسب دراسات فينمان
ب - حسب دراسات لاوسون

المنحدرات السفلى ، فإن أعالى الروافد الجبلية تبدأ من عند الروافد الجبلية تبدأ من عند أواسط المنحدرات ، وليس عند منطقة أعالى المرتفعات نفسها (خطوط تقسيم المياه) ذلك لأنه عند تلك المنطقة الأخيرة يكون انسياب المياه هنا غطائيا . وأوضح فينمان بأن عملية تكوين الأودية الجبلية *gullying* عند القسم الأسفل من أسطح الحافات الجبلية ، يؤدى إلى تكوين المنحدرات المقعرة *Concave slopes* (شكل ٦٧ أ) ، فى حين أن فعل الغطاءات الفيضية الواسعة غير المركزية فوق أعالى المنحدرات الجبلية ، وبمناطق البروز ، وبمناطق خطوط تقسيم المياه ، يؤدى إلى تكوين المحدبات العلوية للمنحدرات *Upper convexites* .

وقد درس الأستاذ لاوسون (١) *Lawson, 1932* أثر فعل الغطاءات الفيضية غير المركزة فوق أعالى المنحدرات الجبلية ، وأوضح بأنه ينتج عن هذه

(1) Lawson, A. G., "Rain Wash erosion in humid regions" Bull Geol Amer vol 43 (1932) 703 - 724.

العملية انتقال تدريجى لمكونات التربة والمفتتات الصخرية من القسم الأعلى للمرتفعات إلى ما تحت أقدامها وينتج عن ذلك أن التراجع الخلفى للقسم الأعلى من الحافات يحدث بصورة سريعة ، وتصبح على شكل منطقة تتأثر أساسا بالتعرية ، فى حين يصبح القسم الأسفل من الحافات عبارة عن منطقة تتجمع فيها الرواسب . ولكنه أوضح بأن درجة التراجع الخلفى تحدث بدرجة أكبر من درجة تجمع الرواسب أسفل المنحدرات ، ذلك لأن تلك الرواسب معرضة دائما للنقل بفعل المياه الجارية وغيرها من عوامل التعرية الأخرى . وهكذا يتكون حسب رأى «لاوسون» المحدبات فى القسم الأعلى ، والمقعرات فى القسم الأسفل من الحافات الجبلية (شكل ٦٧ ب) .

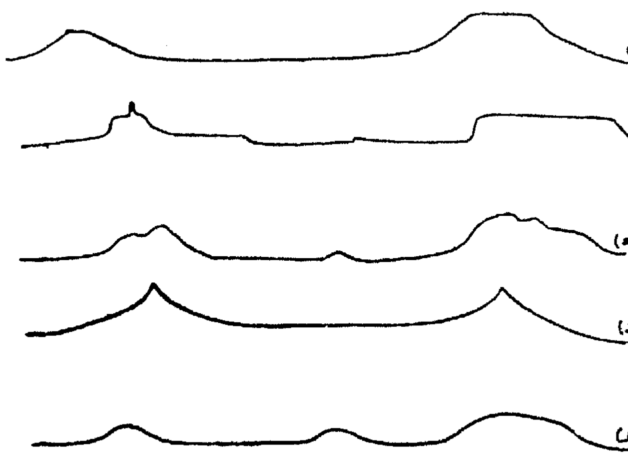
قطاعات المنحدرات في الأقاليم المورفومناخية المختلفة :

رجح كثير من الباحثين الأشكال العامة للمنحدرات وهى حالة الشيخوخة بكل من الأقاليم المورفومناخية المختلفة *Morphoclimatic regions* ، ومن بين هذه الدراسات المهمة تلك التى رجحها الأستاذ كوتون (١) ، فى كتابه عن المناخ وأثره فى تشكيل سطح الأرض عام ١٩٤٢ . وتتلخص الأشكال العامة لقطاعات المنحدرات فى حالة الشيخوخة ، فى الأقاليم المورفومناخية المختلفة (شكل ٦٨ أ ، ب ، جـ ، د ، هـ) فيما يلى :

أ - فى الأقاليم المعتدلة تتميز أعالى المرتفعات بمحدباتها وتتمثل الانحدارات المقعرة تحت أقدام المرتفعات ومعظم المنحدرات منتظمة *regular and smooth* إلى درجة كبيرة تبعا لتغطيتها برواسب سميكة بفعل عمليات زحف المواد . وقد يظهر فوق المنحدرات لعلوية المستقيمة الامتداد فوق أعالى المرتفعات بعض الشواهد الصخرية *tors* الناتجة عن فعل التعرية شبه الجليدية .

ب - فى الأقاليم الحارة الجافة تتميز المنحدرات بكونها حادة وغير منتظمة فى المناطق المرتفعة *irregular and sharp* أى تتغير درجة الانحدار

(1) Cotton, C. A., "Climatic accidents in landscape - making" Christchurch, Whitcombe and Tombes (1942).



(شكل ٦٨) قطاعات المنحدرات فى مرحلة الشيخوخة فى الأقاليم المورفومناخية المختلفة

من منحدر إلى آخر بدرجة كبيرة ، ومن ثم تظهر الحافات والهضاب المصطبية وبعض الأعمدة الصحراوية التى تقاوم فعل التعرية ، وكلها تقع فوق سهول واسعة الامتداد . وهذا يرجع إلى أثر فعل التجوية الطبيعية فى مناطق المرتفعات ، وفعل المراوح الفيضية تحت أقدامها ، وفعل الرياح كعامل نقل وارساب فى السهول الصحراوية .

جـ - أما فى الأقاليم شبه الجافة فتقل درجة أو حدة المنحدرات وتصبح أكثر نعومة وتتميز أعالى المرتفعات المحدبة الشكل باستدارتها ، ويرجع ذلك إلى تعرضها لفعل التعرية المائية وخاصة عمليات غسل الأرض ، فى حين تتجمع الرواسب تحت أقدام المرتفعات بفعل الأودية شبه الجافة والمراوح الفيضية .

د - فى الأقاليم الموسمية وشبه الاستوائية يظهر أثر فعل الأمطار والمياه الجارية فى تشكيل منحدرات سطح الأرض . ويتلخص المظهر العام فى تكوين منحدرات جبلية شديدة الانحدار ، ومنحدرات غير منتظمة الشكل فى المناطق السهلية المقطعة بالمجارى النهرية والمستنقعات .

هـ - أما فى المناطق الاستوائية الغزيرة الأمطار والشديدة الحرارة ، فتعمل التجوية الطبيعية والكيميائية على تشكيل أعالى المنحدرات الجبلية ،

فتتكون هنا إما تلال عالية شبه هرمية الشكل ، أو مستديرة الشكل غير أن جوانبها ناعمة *Smooth* . ويكثر فى هذه المناطق تكوين ظواهر القباب الصخرية فوق أراضى سهلية مغطاة بالغابات الاستوائية .

المنحدرات والدراسة المورفومترية :

يدرس موضوع المنحدرات فى الدراسة الجيومورفولوجية اليوم دراسة مورفومترية . وقد ساهمت علوم الرياضيات والطبيعة والاحصاء ، فى جمع المزيد من قاعدة المعلومات عن منحدرات سطح الأرض . ويدعو أصحاب المنهج المورفومترى عند دراستهم لمنحدرات سطح الأرض إلى استخدام الأساليب الكمية حتى يمكن للباحث فى هذه الحالة أن يتفهم العوامل التى شكلت منحدرات وتلك التى تشكله اليوم وستشكله فى المستقبل . بل يمكن له أيضا حساب مدى فعل هذه العوامل على طول كل من عناصر المنحدر المختلفة .

ومن أظهر أنصار المنهج المورفومترى فى دراسة المنحدرات كارسون ، وكيركبى *Carson, M. A. and Kirkb y, 1972* [١] ، بيكر *Bakker, J. P.* [٢] واسترهلر *Straheer, A, N, 1956* وكوذدك *Czudek, 1964* [٣] وشيديجر *Scheidegger 1961, 1970* [٤] . وقد أسهمت هذه الدراسات الموفومترية فى

---

(1) Carson. M. A., and Kirby M. J., "Hillslope, Form and Process" Cambridge, 1972.

(2) Bakker. J. P. and A. N. Strahler "Report on quantitative treatment of slope recession problems", Inter Geog. Union, 1st Report on the study of slope 1956.

(3) Czudek, T., "Periglacial slope development" ... Biuletyn Peryglacjalny, vol. 14 (1964), 169 - 193.

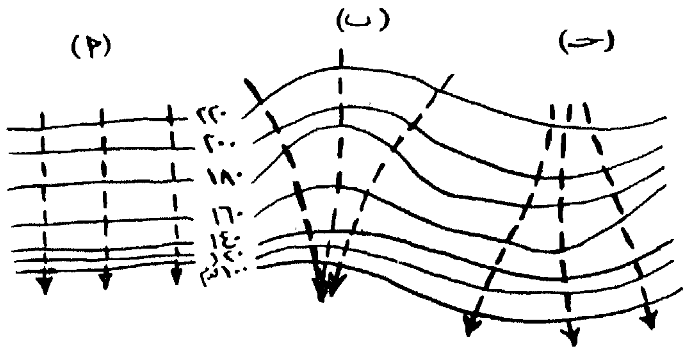
(4) Scheidegger. A. E., "Mathmatical models of slope development Bull, Geol Soc. Amer vol 72 (1961), 37 - 50 "Theortical geomorphology". 2nd N Y 1970.

تفسير أشكال منحدرات سطح الأرض وطرق توقيعها وتمييزها حسابيا ، وفى عمل نماذج لقطاعات المنحدرات المختلفة وحساب أثر عوامل القوى *Forces* والمقاومة *Resistance* فوق منحدرات سطح الأرض ، والتى تؤثر بدورها فى التعرية المائية وفى زحف المواد ، وعلاقة ثبات المنحدر أو عدم ثباته بظروف نشأته وتكوينه واقتراح معادلات كمية توضح تلك العلاقات المتغيرة . وسنشير فى هذا المجال إلى بعض ملامح هذه الدراسة المورفومترية الخاصة بالمنحدرات .

العلاقة بين شكل خطوط الكنتور ، وأشكال المنحدرات والمحتوي الرطوبي للتربة :

تختلف طرق انسياب المياه على سطح المنحدرات تبعا لاختلاف أشكال المنحدرات والتى تؤثر بدورها فى شكل خطوط الكنتور على الخريطة الكنتورية . ففى حالة خطوط الكنتور المقعرة *Concave* أو بمعنى آخر عندما يتداخل خط الكنتور الأقل منسوبا فى خط الكنتور الأعلى منسوبا ، تكون خطوط الانسياب متجمعة ، أى تتجمع المياه فى مجرى مائى محدد . وعلى ذلك فإن كمية المياه المنسابة المركزة فى مجرى محدد ، وكذلك كمية الرواسب المنقولة ، تكون أكبر منها فى حالة ما اذا كانت المنحدرات تظهرها خطوط الكنتور المستقيمة الامتداد أو أن الأرض ذات انحدرات منتظمة ومستوية (شكل ٦٩ أ ، ب ، جـ) .

أما فى حالة خطوط الكنتور المحدبة *Convex* ، والتى تمثل على سطح الأرض مناطق البروز *Spurs* ومناطق ما بين الأودية النهرية ، فتكون خطوط انسياب المياه السطحية فوق المنحدرات غير مركزة فى مجرى معين ، وتصبح على شكل غطاءات فيضية رقيقة السمك *tiny sheet floods* . كما يتبين أن كمية المياه المنسابة فى هذه الحالة وكذلك كمية الرواسب التى تحمل معها تكون بدرجة أقل عنها فى حالة خطوط الكنتور المقعرة أو حتى تلك المستقيمة الامتداد . وحيث إن انسياب المياه فى حالة خطوط الكنتور المقعرة يكون



(شكل ٦٩) أشكال المنحدرات وأثرها فى شكل خطوط الكنتور
(أ) خطوط كنتور مستقيمة الامتداد ـ تدل على انسياب المياه على شكل غطاءات رقيقة السمك .
(ب) خطوط كنتور مقعرة الشكل أى تنساب المياه فى مجرى محدد وتزداد كمية الرواسب المنقولة والمحتوى الرطوبى للتربة بجوار أرضية الوادى .
(جـ) خطوط كنتور محدبة (مناطق البروز) تنساب المياه غطائيا ، ولكن يقل المحتوى الرطوبى للتربة فى القسم العلوى ويزيد فى القسم السفلى من المنحدر .

مركزا ، فإن المحتوى الرطوبى للتربة فى تلك المنحدرات المقعرة التى تحيط بأرضية المجرى النهرى يكون مرتفعا (على فرض أن التربة متجانسة من حيث السمك والخواص) . أما إذا كانت هناك اختلافات فى الخصائص العامة للتربة الممثلة على جانبى مجرى النهر ، فإن شكل انسياب المياه يكون متشابها ولكن درجة المحتوى الرطوبى للتربة تكون مختلفة . ويمكن التعبير عن هذه الحالات المختلفة كمياً .

العلاقة بين المحتوي الرطوبي للتربة وكمية المياه المنصرفة علي أسطح منحدراتها :

فى حالة تجانس مكونات التربة وتشابه خواصها فإنه يمكن حساب كمية المياه المنصرفة فيها لكل وحدة العرض أو الاتساع «ك» وذلك تبعا للمعادلة التالية :

ك ∝ (١) (ر - ر ق) ن (١)

حيث إن :

ك = كمية المياه المنصرفة لكل وحدة عرض .

ر = المحتوى الرطوبى للتربة بالملم .

ر ق = أقل محتوى رطوبى للتربة .

ن = أس ثابت يساوى حوالى ٤ .

وفى حالة زيادة كمية الأمطار الساقطة فوق منحدرات أسطح التربة فى حالة خطوط الكنتور المقعرة ، فإنه يمكن ايجاد كمية المياه المنطرفة لكل وحدة عرض (ك) وذلك طبقا للمعادلة التالية :

ك = م ز (س) (٢)

م ز = متوسط الزيادة فى كمية الأمطار الساقطة (خلال فترة زمنية معينة)

س = مساحة منطقة التصرف لكل وحدة طول كنتورية (متر مربع خلال نفس الفترة)

ويلاحظ أن قيمة (س) تزداد بسرعة فى حالة خطوط الكنتور المقعرة (حول المجارى النهرية المحددة المجري) ، وعلى ذلك فإن هذه المنحدرات لا تتميز بارتفاع المحتوى الرطوبى لتربتها فقط ، بل ان هذا المحتوى يزيد زيادة مضطردة مع زيادة كمية الأمطار الساقطة ، وذلك بدرجة أكبر عن تلك المنحدرات ذات خطوط الكنتور المحدبة أو المستقيمة الامتداد . كما يتبين كذلك أن المحتوى الرطوبى للتربة يزيد فى المناطق السفلى من المنحدرات وفى الحفر السطحية والأحواض الممثلة على أسطح المنحدرات .

---

(١) من بين الرموز اليونانية التي أصبح استخدامها شائعا في الجبر هي :
α (ألفا) β (بيتا) δ (دلتا) λ (لامدا) ρ (روو) γ(جاما) ψ (أبساى)
ϕ(فاى) θ (ثيتا) Σ (سيجما)

وبمقارنة المعادلتين السابقتين (١) ، (٢) يتضح أن متوسط المحتوى الرطوبي في التربة المتجانسة التكوين تحت الظروف العادية تتلخص في المعادلة التالية :

$$ر - رق \propto \left[(م\ ز\ (س)) \right]^{\frac{1}{ن}} \quad (٣)$$

وعلى فرض أن كمية الزيادة في الأمطار تساوى ١٠٠ م^{٣}/كم^{٢} ، ومساحة التصرف ١٠ كم^{٢} ، فإن قيمة (ك) ـ كمية المياه المنصرفة لكل وحدة عرض تساوى :

$$ك = \frac{١٠٠\ م^{٢}}{١\ كجم^{٢}} \times ١٠\ كم^{٢} = ١٠٠٠\ م^{٢}$$

ب - قياس معدلات نقل المفتتات الارسابية كميا فوق أسطح المنحدرات في حالة خطوط الكنتور المنحنية (فوق منحدرات مناطق البروز) :

كما سبقت الاشارة من قبل فإن مدى نقل المفتتات الارسابية يرتبط بأشكال المنحدرات وأشكال خطوط الكنتور التي تصورها . وأصبح من المعلوم أن أية زيادة في كمية المياه المنسابة (فوق أسطح منحدرات خطوط الكنتور المقعرة) تؤدى بدورها إلى زيادة في حجم الرواسب أو المفتتات الارسابية المنقولة . في حين تقل حجم الرواسب المنقولة عندما يكون الانسياب على شكل غطاءات فيضية رقيقة السمك ، وتتمثل هذه الحالة الأخيرة في مناطق البروز وعند أعالي الحافات الجبلية .

ويتخلص حساب معدل نقل المفتتات على أسطح المنحدرات (١) في المعادلة الآتية :

---

(1) Carson. M. A., and Kirby, M. J. "Hill slope, Form and Process", Cambridge 1972, p. 392.

$$\frac{\delta \text{ق}}{\delta \text{م}} - \frac{\text{ق}}{\text{نق}} + \text{ح} \left(\frac{\delta \text{ع}}{\delta \text{ز}} \right) = \text{صفر}$$

حيث إن :

ق = مقدار المفتتات المنقولة لكل وحدة طول كنتورية .

م = المسافة الطولية لنقطة من خط تقسيم المياه المحلى الذى تتبعه (م) .

نق = نصف قطر انحناء الكنتور فوق سطح المنحدر .

ح = حجم التربة المتكونة من كل وحدة حجمية من الصخر .

ع = ارتفاع أو منسوب نقطة م .

ز = طول الفترة الزمنية .

وحيث إن المقدارين ق ، نق يتوقفان على شكل خطوط الكنتور ، فإن معدل نقل المفتتات يتناقص فى حالة ما اذا كان شكل الخطوط الكنتورية مستقيمة الامتداد أو ذات انحدار محدب على طول مناطق البروز ، فى حين يزداد هذا المعدل فى حالة خطوط الكنتور المقعرة (حالة تكوين المجارى النهرية المحددة) . وتساعد الجاذبية الأرضية ، وطول المدة الزمنية بالاضافة إلى مدى سرعة حركة المياه المنسابة على سرعة نقل المفتتات الارسابية فوق أسطح المنحدرات .

جـ - قياس مساحة أو أحواض الصرف المائي وبعدها عن مناطق خط تقسيم المياه :

اهتم الباحثون بتحديد مساحة كل منطقة صرف مائى داخل الأحواض النهرية ، وتحديد كمية المياه المنصرفة اليها ، والمحتوى الرطوبى للتربة فيها ، وشكل الانحدارات الممثلة فيها ثم مدى بعدها عن خط تقسيم المياه المباشر (المحلى أو الثانوي) الذى تتبعه منطقة الصرف . وقد حاول البعض منهم انشاء قطاعات توضح العلاقة بين مساحة منطقة الصرف المائى لكل

وحدة طولية كنتورية بالنسبة لبعدها عن خط تقسيم المياه المحلى فى حوض النهر .

وقد تبين أن هذه النسبة تكاد تكون ثابتة ، وتساوى ١ فى حالة خطوط الكنتور المستقيمة الامتداد *straigt contours* ، وأقل من ١ فى حالة مناطق البروز النهرى (المحدبات ـ *Spurs*) ، وأكبر من ١ فى حالة الأحواض والحفر السطحية ومجارى الأنهار . وفى حالة البروز النهرى فإن النسبة بين مساحة منطقة التصريف المائى بالنسبة للمساحة الطولية بينها وبين خط تقسيم المياه تكاد تكون نسبة ثابتة . وتتضح هذه النسبة الثابتة فى المعادلة التالية :

$$\lambda = \frac{\text{س}}{\text{م}} = \frac{\left(\frac{\text{نق}}{\text{م}}\right)}{١ - \left(\frac{\text{نق}}{\text{م}}\right)}$$

حيث إن :

س = مساحة منطقة التصريف لكل وحدة طول كنتورية (م^{2})

مـ = المسافة الطولية لنقطة من خط تقسيم المياه المحلى الذى تتبعه (م) .

نق = نصف قطر انحناء الكنتور فوق سطح المنحدر .

من هذا العرض يتضح أن على الباحث الجيومورفولوجى ضرورة معرفة كل السبل واتباع مختلف المناهج عند دراسته لعناصر سطح الأرض ، غير أنه يحسن فى النهاية أن يقدم شرحا مبسطا عن تلك العناصر لقارئ الجغرافيا .

الباب الرابع

فعل المجارى النهرية والمياه الجوفية

فى تشكيل سطح الأرض

الفصل الرابع عشر : المجرى النهرى ، وأهم الظاهرات الجيومورفولوجية فى واديه .

الفصل الخامس عشر : المياه الجارية ، دراسة هيدرومورفومترية .

الفصل السادس عشر : المياه الجوفية مظاهرها وأثرها فى تشكيل سطح الأرض .

الفصل السابع عشر : أثر فعل المياه الجوفية فى تشكيل الظاهرات الجيومورفولوجية فى أقاليم الكارست الجيرية .

الفصل الرابع عشر
المجري النهرى وأهم الظاهرات
الجيومورفولوجية فى واديه

اعتقد بعض جيولوجيى القرن الثامن عشر أن معظم الأنهار الحالية قد شقت مجاريها بواسطة مياه البحار والمحيطات التى تسربت إلى اليابس المجاور ، أو تكونت تبعا لتعرض سطح الأرض لحدوث حركات تصدع ، نجم عنها تكوين المجارى النهرية على طول أسطح الصدوع والفوالق . ولكن سرعان ما تغيرت هذه التفسيرات الذاتية بفضل كتابات بعض جيولوجيى وجيمورفولوجيى أمريكا فى أواخر القرن التاسع عشر ونخص بالذكر منهم ، الماجور باويل ، وجيلبرت ، ووليم موريس دافيز . وقد أكدت هذه الدراسات المختلفة أن المجارى النهرية تتكون بفعل تجمع المسيلات المائية والأودية الجبلية *Gullies* فى القسم الأعلى من حوض النهر ثم تتحد كلها لتكون مجرى محددا عميقا ينحدر صوب الانحدارات السفلى وقد يصب مياهه فى النهاية فى بحر أو بحيرة . ويتبع المجرى النهرى فى مسلكه عادة ، مناطق الضعف الجيولوجية التى تتمثل على طول أسطح الصدوع أو فى نطاق الطبقات الصخرية اللينة . وعندما يشق النهر مجراه تبدأ كذلك فى نفس الوقت عملية اتساع واديه ، ويساعده فى ذلك فعل الروافد الجبلية السريعة الجريان *Gullies* بالاضافة إلى تساقط الصخور وانزلاق الأرض على طول جانبى النهر الشديدة الانحدار . وعندما يتعرض النهر لعمليات النحت الرأسى والنحت الجانبى ينجم عن ذلك انخفاض منسوب سطح الأرض الأصلى من جهة ، وتضرس المنطقة بواسطة التقطع النهرى وتراجع هذه الأنهار نحو منابعها العليا من جهة أخرى . وقد يتكون فى نهاية دورة هذه العمليات سهول واسعة الامتداد مستوية السطح تشغل أجزاء كبيرة المساحة من الإقليم ، ويطلق عليها اسم السهول التحاتية . ولكى تتكون مثل هذه السهول يجب أن تتميز المنطقة

بالاستقرار تكتونيا . بمعنى ألا تتعرض الأرض فيها لحركات رفع تكتونية تؤثر فى سير الدورة التحاتية ونظام عملها من جديد . ومن ثم فقد تشكلت مناطق واسعة المساحة من أفريقيا وغرب أوربا وشرق أمريكا الشمالية بتكوين السهول التحاتية الهائلة الامتداد ، ولكن فى مناطق أخرى مثل جزر نيوزيلند لم يمر عليها الزمن الكاف الذى يكفل لها تكوين مثل هذه السهول الكبرى ، حيث كان سطح الأرض دائم التغير تبعا لحدوث الحركات التكتونية التى أدت تشكيله المستمر وعدم استقراره .

وقد أكد دافيز كما سبقت الاشارة من قبل إلى أن ظاهرات سطح الأرض تختلف من مكان إلى آخر ، بل تتنوع فى المكان الواحد على سطح الأرض خلال الأزمنة الجيولوجية المختلفة . ويرجع هذا الاختلاف إلى أثر ثلاثة عوامل كبرى تتمثل فى التكوين الصخرى ونظام بناؤه ، و عوامل التعرية ، ومراحل النمو . وعلى ذلك رجح دافيز نظريته المشهورة التى أطلق عليها اسم «الدورة التحاتية أو ما أسماه هو بالدورة الجغرافية» *Cycle of Erosion or Geographical Cycle* ، وأكد أن أهم العوامل التى تساعد على سير هذه الدورة ونظامها هى التعرية النهرية حيث إنها أكثر العوامل انتشارا على سطح الأرض .

وتبدأ الدورة التحاتية العادية *Normal cycle* حسب رأى دافيز بحدوث حركة ارتفاع تكتونية فى سطح الأرض الأصلى *Initial Surface* . وقد تكون هذه الحركة فجائية سريعة أو تدريجية بطيئة ولكل منهما له أثره الواضح فى نمو المجارى النهرية . وقد تؤثر حركة الرفع هذه إما فى أسطح قارية أو أجزاء من الرفارف القارية أو فى قاع البحر الضحل ، وبالتالى قد يكون السطح الأصلى مستوى السطح أصلا أو شديد التضرس كذلك . وبعد تعرض هذا السطح لحركة الارتفاع قد يتغير شكله العام أو قد يحتفظ كذلك بمعظم ظواهره الأصلية .

وينتج عن حركة الارتفاع التكتونية تكوين الثنيات المحدبة وتلك المقعرة

ومن ثم يتموج السطح وتحتل المجارى النهرية المقعرات الطولية *Concavities* الأولية ، كما تتعرض أعالى المحدبات *Convexities* لفعل المجارى النهرية التى تمتد مع اتجاه مضرب الطبقات . ويتوالى عمليات التعرية النهرية يتشكل مظهر سطح الأرض العام ، وتحفر الأنهار مجاريها على طول نطاقات مناطق الضعف الجيولوجية ولا تتقيد فى هذه الحالة بطبيعة الانحدار العام كما كانت فى بداية الدورة التحاتية .

وتبعا لشدة تراجع الأنهار النشطة التى قطعت أعالى الثنيات المحدبة قد تتمكن من أسر أجزاء من مجارى الأنهار الأخرى ، ومن ثم يتغير كذلك أشكال التصريف النهرى ويتنوع مظهره العام من مرحلة إلى أخرى . وفى مرحلة متأخرة أطلق عليها دافيز مرحلة النضج ، قد تتمكن المجارى النهرية من تكوين سهول مستوية هائلة الامتداد ويقل انحدار المجرى النهرى فيها ويضعف تياره لهدوء عمليات النحت الرأسى أو توقفها . وبالتالى تتصف المجارى النهرية فى هذه الحالة الأخيرة بأنها أكملت دورة تحاتية كاملة . ويمكن معرفة الأدلة التى ترمز إلى الدورة التحاتية وتطورها بواسطة دراسة الظاهرات المتخلفة أو بمعنى آخر تلك التى تبقى على سطح الأرض بعد اتمام كل مرحلة . هذا بالاضافة إلى الأدلة المستقاة من دراسة بقايا سطوح التعرية *Erosion Surface Remnants* ، وطبيعة التصريف النهرى وأشكاله وتمييز الرواسب المختلفة التى قد تشكل بقايا هذه الأسطح .

وقد أوضح دافيز أن بعض مناطق من سطح الأرض قد تتشكل بدورة تحاتية واحدة منتظمة الحدوث . ولكن تبعا لتعرض بعض الأجزاء الأخرى من سطح الأرض لحدوث عمليات رفع تكتونية تغير من نظام الدورة ، فقد تتشكل بدورة تحاتية ناقصة *Partial Cycle* أو تعرضها لأكثر من دورة تحاتية *Multicycles* .

وتجدر الاشارة بعد تناول هذا العرض السريع للمراحل المختلفة التى تمر بها الدورة التحاتية الدافيزية ، أن ندرس كيف تنشأ أو تتكون المجارى النهرية

ومصادر مياهها ثم دراسة خصائص المجرى النهرى المثالى فى رأى دافيز وأهم الظاهرات الجيومورفولوجية فى واديه خلال كل من المرحل المختلفة للدورة التحاتية الدافيزية .

نشأة المجارى النهرية

يعتبر المصدر الأساسى لمياه المجارى النهرية هو بلا جدال كميات مياه الأمطار الهائلة التى تسقط على مناطق المنبع أو الأجزاء العليا من حوض النهر والتى تغذى منابع النهر الرئيسة وتزود روافده بكميات هائلة من المياه . وتعمل المياه بما تحمله من رواسب على شق مجرى النهر وتكوين واديه . وقد تتعرض مياه الأنهار هى الأخرى لعدة عوامل مختلفة تؤثر فى كميتها ومنسوبها فى مجرى النهر ، وتتلخص هذه العوامل فيما يلى :

أ - تعرض جزء منها لفعل التبخر *Evaporation* الذى يزداد أثره خاصة فى المناطق الشديدة الحرارة والجافة مثل مجارى أنهار المناطق الصحراوية الحارة الجافة .

ب - تعرض جزء من المياه لفعل التسرب داخل صخور القشرة الأرضية خاصة خلال فتحات الشقوق والفوالق ، ويساعد على ذلك قدرة الصخر على إنفاذ المياه . وتصبح هذه المياه الأخيرة ، مياه جوفية إلا أنها قد تظهر على سطح الأرض مرة ثانية على شكل ينابيع أو أنهار شبه جوفية (١) .

جـ - تفقد كميات كبيرة من المياه وأجزاء كبيرة من حمولتها كذلك فى البحر أو البحيرة التى يصب فيها مجرى النهر .

د - تمتص بعض المياه بواسطة جذور النباتات والأشجار ، الا أن بعضاً منها

---

(١) يقصد بهذا التعبير تلك الأنهار التى تظهر على سطح الأرض ثم تختفى فى جوف الأرض ، إلا أنها قد تظهر على السطح مرة أخرى فى مكان آخر تبعا للعلاقة بين سطح الأض والمنسوب الدائم للمياه الجوفية .

قد يخرج ثانية إلى الجو بواسطة عامل النتح *Transpiration* .

على ذلك يمكن القول بأن مياه البحار والأنهار تكاد تكون لها دورة متكاملة فقد يفقد النهر أو البحر جزءا من مياهه ، ولكن خلال سير هذه الدورة قد يسترد كل منهما ما فقده من المياه بواسطة العوامل المختلفة الأخرى .

وجدير بالذكر بأن مصدر مياه بعض المجارى المائية فى المناطق المعتدلة الباردة والباردة لا يتوقف على الأمطار فقط بل على فعل التساقط *Precipitation* ويقصد بذلك تساقط كل من الثلج والأمطار معا . وقد يرجع مصدر مياه بعضها الآخر إلى فعل انصهار الثلج المتجمع شتاء فى المناطق الجبلية فى فصلى الربيع والصيف . ونتيجة لاختلاف كل من كميات التساقط ودرجة التبخر وكمية تسرب المياه من مكان إلى آخر ، تختلف كثافة المجارى النهرية ، أو بمعنى آخر قد تزداد أو تقل أطوال المجارى النهرية من مكان إلى آخر بالنسبة لمساحة حوض النهر تبعا لهذه الظروف المتعددة . غير أن كثافة المجارى النهرية ترتفع بشكل ملحوظ فى المناطق المعتدلة والمعتدلة الباردة ، نتيجة لزيادة كميات التساقط والأمطار الساقطة ، وقلة درجة التبخر .

أما فى المناطق الجافة وشبه الجافة فتقل فيها عادة كثافة التصريف النهرى ، وذلك تبعا لندرة سقوط الأمطار ، وشدة درجة التبخر . ولكن لا يمنع ذلك من تكوين أنهار كبرى تشق مجاريها فى مناطق صحراوية جافة مثل نهر النيل فى مصر . ويرجع السبب فى ذلك غالبا إلى أن مصدر أو منابع هذه الأنهار تقع فى مناطق تغزر فيها كمية الأمطار الساقطة ، وتقع خارج نطاق المناطق الصحراوية . ويفقد النهر عند جريانه فى المناطق الصحراوية الحارة الجافة جزءا كبيرا من مياهه بواسطة التبخر والتسرب . أما إذا كان طول النهر قصيرا فقد يصبح جافا فى فترة معينة من السنة ، ثم قد يملأ مجراه ثانية بالمياه خلال فترات سقوط الأمطار أو عند حدوث السيول . ومن ثم يمكن القول أن أهم العوامل الأساسية لاستمرار جريان المياه بمجرى النهر هو قلة نسبة كل من التبخر والتسرب بالنسبة إلى كمية الأمطار الساقطة المغذية

لمجرى النهر . وحيث تتميز المناطق الاستوائية بعظم سقوط الأمطار طول العام وارتفاع درجة الحرارة فى هذه الأقاليم ، فيزداد فيها كذلك كثافة التصريف النهرى تبعا لحجم كميات المياه المكتسبة اذا ما قورنت بنسبة المياه المفقودة . ويمكن تتبع عامل التبخر بواسطة ملاحظة اختلاف منسوب المياه فى مجارى الأنهار . ففى المناطق الاستوائية يقل منسوب مياه مجرى النهر أثناء النهار لارتفاع درجة الحرارة وزيادة نسبة التبخر من المياه عن تلك الكمية المكتسبة من الأمطار ، ثم يرتفع هذا المنسوب أثناء الليل تبعا لانخفاض درجة الحرارة وقلة الفاقد من مياه الأنهار بفعل التبخر وزيادة سقوط الأمطار. ويعد الاختلاف الموسمى فى منسوب مجارى أنهار المناطق الاستوائية طفيفا تبعا لقلة المدى الحرارى السنوى ، وسقوط الأمطار طول العام .

وقد يؤثر التكوين الصخرى فى كثافة التصريف النهرى سواء أكان ذلك فى المناطق الرطبة أو الجافة . فإذا تكونت الأنهار فوق صخور طينية كبيرة السمك أو فوق صخور غير منفذة للمياه ، فيتميز سطح الأرض بكثرة المجارى النهرية وذلك لقلة الفاقد من المياه بفعل التسرب . أما اذا تكونت المجارى فوق صخور طباشيرية منفذة للمياه فهذه سرعان ما تساعد على تسرب المياه داخل طبقات الصخور المسامية والشقوق الصخرية وقد تصبح أنهارا جوفية كما هو الحال فى بعض أجزاء من جنوب غرب انجلترا وإقليم بريتانى فى شمال غرب فرنسا ، وفى بعض أجزاء من أمريكا الوسطى ، وفى إقليم الكارست المشهور فى يوغوسلافيا .

كما أن لدرجة انحدار السطح أثرا كبيرا فى اختلاف كثافة التصريف النهرى . فإذا كان الانحدار بسيطا مع زيادة كمية سقوط الأمطار ، فينجم عن ذلك كثرة المجارى النهرية ، بل قد تتكون السدود والمستنقعات كما هو الحال فى حوض بحر الغزال وحوض بحر الزراف فى أعالى نهر النيل . أما إذا كان الانحدار شديدا فقد يساعد على سرعة جريان النهر وشق واديه بسهولة ، وعدم اتاحة الفرصة لفقد مياه النهر عن طريق التبخر والتسرب ولكنها قد

تؤدى إلى تكوين مجارى نهرية طولية موازية لانحدار السطح العام .

وعند تكوين المجارى النهرية خلال المراحل الأولى من نشأتها تشق طريقها خلال التموجات البسيطة فى السطح الأصلى ، وتعرف باسم الأنهار الأصلية *Consequent Streams* وتعرف خطوط تقسيم مياهها باسم *Consequent Divides* . وأطلق دافيز على بداية رحلة تكوين الأنهار الرئيسية الأصلية بعد تعرضها لحركة الارتفاع اسم مرحلة الطفولة . وعرفت المراحل الأخرى المتعاقبة من الدورة التى يتشكل فيها كل من سطح الأرض والتصريف النهرى باسم مرحلتى الشباب والنضج . وقد تتمثل بعض هذه المراحل أو كلها فى مجرى النهر الواحد .

وقد أوضح وليم موريس دافيز بأن القسم الأعلى من الوادى النهرى يكون النحت الرأسى فيه شديدا تبعا لارتفاع منسوبه بالنسبة لمستوى القاعدة العام ، ويظهر فيه أثر فعل النحت بصورة أكبر من فعل الارساب وتتميز ظواهره الجيومورفولوجية بأنها فى مرحلة الطفولة . أما القسم الأوسط من الوادى النهرى فهنا يتعادل فعل النحت والنقل مع فعل الإرساب ، وتصبح ظواهره الجيومورفولوجية «شابة» المظهر ، فى حين يمثل القسم الأسفل أو الأدنى من النهر ، مرحلة الشيخوخة حيث يكون مجرى النهر قريبا من مستوى القاعدة العام ، وضعيف الانحدار وبطئ التيار ، ويقل فعل النحت ويشيع فعل الارساب . وإذا تمثلت تلك الحالات كلها فى مجرى نهر واحد ، فإن النهر فى هذه الحالة يعد نهرا مثاليا . ولكن ليس من الضرورى أن تتمثل جميع هذه الحالات الثلاث فى كل وادى نهرى فى العالم . فبعض الأنهار قد لا يتمثل فيها سوى حالتين أو حالة واحدة بمعنى أننا ، نلاحظ فى الأنهار الجبلية التى تصب فى البحر مباشرة مثل أنهار لبنان ، لا يتمثل فيها سوى القسم الأعلى وبعض ظواهر من القسم الأوسط من الوادى النهرى المثالى . حتى أن النهر الواحد عند بداية نموه يكون نشيطا فى مرحلة الطفولة . ثم يتطور فى نموه إلى مرحلة الشباب ، وعندما يشيخ النهر بعد مدة زمنية طويلة يصبح فى

مرحلة الشيخوخة . والحديث التالى يلخص خصائص المجرى النهرى وبعض الظواهر الجيومورفولوجية التى تميز أجزاء النهر المثالى بأقسامه العليا والوسطى والدنيا .

أولا : المجرى النهرى المثالى وأهم الظاهرات الجيومورفولوجية فى واديه خلال مرحلة الطفولة :

أهم ما يميز الوادى النهرى المثالى فى مرحلة الطفولة ظهوره على شكل خانق ضيق ذو جدران أو حوائط جانبية شديدة الانحدار ، كما يشكل مجرى النهر فى هذه المرحلة كذلك كثير من الجنادل والمساقط المائية . وتتشابه معظم الروافد العليا خلال هذه المرحلة الأولى مع النهر الرئيسى الذى تصب فيه حيث أنها تتبع الانحدارات الأصلية لسطح الأرض ، وتتبع الحفر الوعائية والمناطق المنخفضة وفتحات الشقوق المناطق الضعيفة جيولوجيا فى الصخر . ويتميز منسوب معظم روافد أعالى النهر فى مرحلة الطفولة بكونه أعلى ارتفاعا من منسوب مجرى النهر الرئيسى ، وعلى ذلك تصب معظم هذه الروافد فى النهر على شكل أودية معلقة *Hanging Valleys* . وتتمثل هذه الحالة فى معظم أعالى أنهار نيوزيلند حيث إن الروافد الرئيسية النهرية تعد روافدا عميقة شقت مجاريها خلال الصخور اللينة مثل روافد أنهار رانجيتيكى *Rangitikei* وأواتيرا *Awatere* ، وتميزت جوانب أودية هذه الروافد بشدة انحدارها وارتفاعها عن قاع النهر . ويمكن أن نلخص أهم الخصائص الجيومورفولوجية لمجرى النهر المثالى خلال مرحلة الطفولة فى النقاط التالية :

(أ) ضيق عرض المجرى النهرى بحيث أنه قد يصل فى بعض الحالات إلى عدة أقدام معدودات .

(ب) شدة انحدار المجرى وسرعة جريان المياه فيه .

(جـ) تكوين الجنادل والمساقط المائية والشلالات على طول امتداد مجراه .

(د) يشق النهر مجراه خلال مناطق الضعف الجيولوجية ويتبع الحفر الوعائية

Pot Holes والمقعرات السطحية *Concavities* .

(هـ) عدم وصول النهر إلى مرحلة الثبات أو مستوى القاعدة العام بل يتميز النهر بحيويته ونشاطه ويشتد الفعل الناتج عن النحت الرأسى والجانبى .

(و) زيادة حمولة المواد الصخرية المفتتة والمذابة ونقلها من أعالى النهر صوب الأجزاء الدنيا ، ويساعد هذه العملية الأخيرة شدة انحدار المجرى وسرعة جريان المياه .

ويتميز الوادى النهرى هو الآخر فى هذه المرحلة بظهور قطاعه العرضى على شكل حرف *"V"* وتحيط به جوانب شديدة الانحدار ، وتبدو على شكل حوائط عالية يجرى تحت أقدامها مجرى النهر . ومن أهم المظاهر الجيومورفولوجية لسطح أرض الوادى فى مرحلة الطفولة شدة تضرسه والتى أطلق عليها الباحثون تعبير *Coarse texture of dissection* . وحيث إن أهم ما يميز النهر فى هذه المرحلة هو حيويته ونشاطه تبعا لفعل النحت الرأسى ، فيحسن الاشارة إلى عملية النحت الرأسى فى المجرى النهرى .

عملية النحت الرأسى *Vertical Corrasion* :

يعمل النهر فى مرحلة الطفولة جاهدا على تعميق مجراه خلال طبقات الصخور المختلفة متتبعا اللين وسهل النحت منها ، ويساعد عملية حفر مجراه ما يحمله النهر من رواسب وجلاميد صخرية . وتعد هذه المواد الأخيرة عند احتكاكها بالقاع من أهم أسلحة النهر الرئيسة فى حفر مجراه . وتبعا لجريان مياه النهر بسرعة وبالاضافة إلى شدة انحدار المجرى ، فمن الصعب أن يتراكم أو يترسب ما يحمله النهر من رواسب بل تحمل عادة إلى الأجزاء الدنيا من النهر . وتنقل المفتتات والرواسب من أعالى النهر صوب أجزائه الدنيا ، ومن ثم قد يظهر الصخر الأصلى فى قاع النهر دون أن تحميه أى فرشات ارسابية أو بمعنى آخر يقدم باستمرار صفحة أخرى جديدة من الصخر لتتآكل بفعل التعرية الرأسية النهرية النشيطة .

وعندما تتألف حمولة النهر من الصخور الكبيرة الحجم أو من الحصى

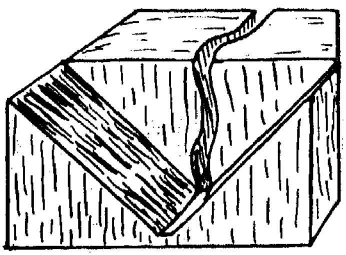
والرمال الخشنة ، فيساعد عملية النحت الرأسى فى هذه الحالة الحفر الوعائية (لوحة ٤٢) *Pot holes* التى تقع فى قاع مجرى النهر . وتتألف هذه الحفر من مقعرات اسطوانية قد تكون صغيرة القطر ولكنها غالبا عميقة بالنسبة لقطرها الصغير . وتملأ هذه الحفر عادة بواسطة الحصى والزلط الذى يساعد بدوره على تعميق الحفر نفسها . وعند حدوث تيارات مائية دوامية نتيجة لسرعة المياه فقد ينقل الحصى والزلط منها ثانية خارج الحفرة ، ليفتح المجال لفعل أنواع أخرى من الرواسب تقوم بنفس الدور . وينجم عن هذه العملية شدة النحت الرأسى وتكوين مجارى نهرية هائلة العمق تعرف باسم *Saw-cut Streams* ومن بين أمثلتها مجارى المنابع العليا لبعض الأنهار الجبلية فى سويسرا ونيوزيلند .

ونتيجة لاستمرار عملية النحت الرأسى وتعميق النهر مجراه فى الصخور يساعد ذلك على نحت جوانب النهر ، أو بمعنى آخر كلما عمق النهر مجراه ، ازداد فعل النحت الجانبى وتساقطت الصخور على طول الجوانب الشديدة الانحدار ، وبالتالى يتسع وادى النهر بمرور الزمن . وكما يتضح فى شكل ٧٠ أن كمية الحصى والجلاميد المفتتة والتى نقلت بواسطة النهر تعد



(لوحة ٤٢) نموذج للحفر الوعائية فى قاع النهر

هائلة الحجم جدا بالنسبة للامتداد العرضى لمجرى النهر نفسه ، ولكن يساعد عملية النقل هذه حدوث فعلها المستمر بواسطة الروافد الفرعية النشيطة ، وتبعا لسرعة جريان المياه وشدة الانحدار وتقطع الأرض بواسطة الأودية المعلقة وتدفق الصخور على جانبى الأودية الشديدة الانحدار بواسطة عمليات سقوط الأرض

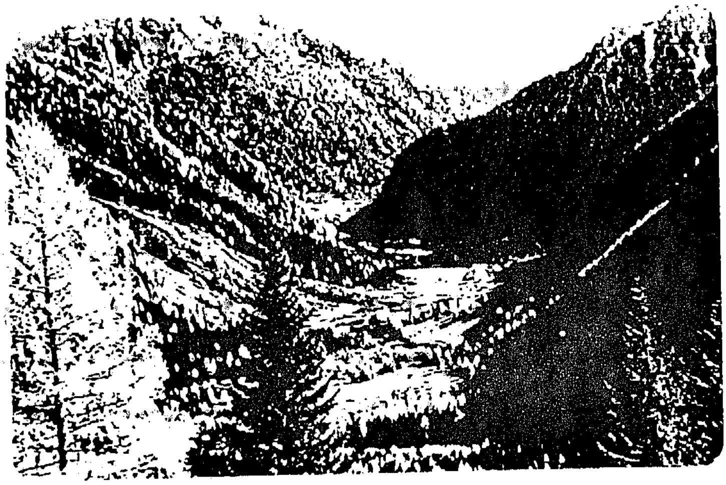


(شكل ٧٠) العلاقة بين عرض المجرى النهرى وحجم المواد المنقولة

وانزلاقها . كما تتكون الجنادل والمصاطب والشلالات ، نتيجة لاختلاف التركيب الصخرى وصلابته من جزء إلى آخر على طول مجرى النهر .

يتضح من هذا العرض أن المجارى العليا للأنهار المثالية تتميز فى مرحلة الطفولة باستمرار تجدد حياتها وحيوية نشاطها وأنها دائمة النحت رأسيا لكى تصل إلى منسوب القاعدة العام . ومن ثم تشق معظم هذه المجارى أودية نهرية عميقة على شكل حرف *"V"* . ويطلق على هذه الخوانق فى اجزء الأعلى من النهر اسم *Torrent Mountain Tract* (لوحة ٤٣) . أما فى الجزء الأوسط من النهر حيث تهدأ فيه سرعة النهر نسبيا وتقل قوة النحت الرأسى فيعرف باسم *Valley Tract* بينما يطلق على الجزء الأدنى من النهر ، البطئ الانحدار والذى تقل فيه بوضوح فعل النحت الرأسى والجانبى ويظهر أثر فعل الارساب اسم *Plain Tract* .

ولكن لم تستطع كل الأنهار أن تكون لنفسها هذه المراحل المختلفة من المجارى والأودية ، وذلك يرجع إلى اختلاف العوامل الجيولوجية والجغرافية من مكان إلى آخر ، أو أنه لم يمر عليها الزمن الكافى لكى تتمثل فيها هذه المراحل المختلفة من التطور حسب آراء دافيز . فقد تتميز أعالى بعض الأنهار بمرحلة الوادى النشيط ثم تصب فى البحر مباشرة . وقد يتكون فى بعضها الآخر مرحلة الوادى الأوسط ولا يظهر فيها مرحلة الوادى الأدنى السهلى . ومن ثم فإن مثل هذه الأودية النهرية الأخيرة تعد أودية شاذة غير مثالية



(لوحة ٤٣) خانق نهرى فى القسم الأعلى من حوض النهر

بحسب دراسات دافيز .

وتبعا لقوة نشاط النهر فى مرحلة الطفولة وفى الأجزاء العليا من منطقة المنابع يؤدى إلى سرعة تآكل الصخور ومن ثم يتجه امتداد النهر نحو المنبع ، وتعرف هذه العملية باسم «التعرية الخلفية» *Headward Erosion* وأهم ما يساعد هذه العملية الأخيرة فعل الهدم أو النحت الذى تقوم به الأودية الجبلية المعلقة ، وانزلاق الأرض على طول الجوانب النهرية الشديدة الانحدار ، هذا بالاضافة إلى أثر فعل الأمطار والسيول .

وعلى ذلك فإن أهم الظواهر الجيومورفولوجية للأجزاء العليا من النهر وواديه الأعلى كذلك فى مرحلة الطفولة تلك الناجمة عن عمليات الهدم . وتنشأ هذه الظواهر أساسا تبعا لتقطع السطح الأصلى بواسطة الروافد النهرية العميقة ذات الجوانب الهائلة الارتفاع والشديدة الانحدار . ويزداد السطح تضرسا تبعا لاستمرار عمليات النحت الرأسى وقد يصاحبها بعض عمليات تساقط الصخور والانزلاقات الأرضية على جانبى الأودية الشديدة الانحدار . وتؤدى هذه العمليات بدورها ليس فقط إلى تقسيم سطح الأرض الأصلى بل

إلى انخفاض منسوبه تدريجيا . وينتج عن عمليات الهدم هذه تكوين المواد الصخرية المفتتة والحصى والجلاميد التى تنقل تدريجيا بواسطة النهر إلى الأجزاء الدنيا من واديه ويتألف منها المواد الأساسية التى تستخدم فى عمليات البناء والارساب فى هذه الأجزاء . وتتلخص العوامل التى تتحكم فى التعرية النهرية ومدى أثرها فى الجزء الأعلى من النهر فيما يلى :

(أ) نوع الصخر وميل طبقاته واختلاف بنيته .
(ب) كمية المياه المتدفقة فى المجرى النهرى نفسه .
(جـ) سرعة جريان المياه ودرجة انحدار مجرى النهر .
(د) تباين التكوين المعدنى لكل من الرواسب المفتتة والمذابة واختلاف أحجامها وأشكالها .
(هـ) مرحلة نمو النهر وعلاقته بالنسبة لمستوى القاعدة العام .

ولا تترسب الكميات الهائلة من الرواسب والحصى والزلط وفتات الصخور المتحللة من صخور مناطق المنابع العليا للنهر على جانبيه فى هذه الأجزاء بل هى تكون عادة فى حركة انتقال مستمرة متجهة صوب الأجزاء الوسطى والدنيا من النهر . وتتخذ عملية النقل أشكالا مختلفة يمكن حصرها فيما يلى :

(أ) الاذابة والتحلل الكيميائى *Solution and Corrosion* :

ويقصد بذلك نقل المواد التى تحللت أو أزيبت تماما من الصخر مع المياه إلى الأجزاء الدنيا من النهر . وتختلف عملية التحلل الكيميائى للصخر ومدى أثرها تبعا لعوامل مختلفة من أهمها التركيب الصخرى واختلاف صلابته ، ودرجة حرارة مياه النهر وشكل الدوامات والتيارات المائية النهرية .

(ب) التفتيت الميكانيكى للصخور بواسطة فعل المياه نفسه :

Hydraulic Action

تساعد قوة اندفاع المياه وجريانها على تفتيت الصخر وتقسيمه فنتيجة لسرعة جريان المياه الساقطة من أعالى الشلالات أو الجنادل واندفاعها تعمل

على نقل المواد الصخرية المفتتة ، مسافات بعيدة نحو الأجزاء الدنيا من النهر . وإذا كان فى استطاعة المياه المندفعة وجريانها خلال فترة ما نقل بعض من الرواسب وترك الجلاميد الصخرية الكبيرة الحجم ، فقد تنقل الأخيرة مرة ثانية أثناء حدوث تيارات ودوامات مائية شديدة .

(جـ) نحت جانب النهر وقاعه بواسطة فتات الرواسب المنقولة *Corrasion* :

قد تعمل الرواسب التى يحملها النهر من حصى وجلاميد وفتات صخرية وزلط ، ورمال على نحت جانبى النهر وقاعه وتفتيت الصخور التى يشقها وتتم هذه العملية تبعا لاحتكاك هذه المواد البصخور فيؤدى إلى اضعافها جيولوجيا ، وبمرور الزمن تتفتت الصخور على جانبى النهر وتفتح المجال لأثر فعل عوامل التعرية الأخرى . وتعد نشأة الحفر الوعائية وتكوينها من أهم الظواهر التى تنجم عن أثر فعل احتكاك الرواسب المحمولة بصخور أرضية قاع النهر .

(د) عامل الجر *Attrition* :

تتعرض رواسب النهر المختلفة من حصى وزلط وجلاميد أثناء عملية نقلها صوب الأجزاء الدنيا من النهر إلى التمزق والتفتيت نتيجة لتدحرجها وجرها على طول امتداد القاع . وينجم عن هذه العملية تفتيت أطراف الكتل الصخرية وشطف حوافها وجوانبها وتصبح أقل حجما عما كانت عليه من قبل ، وبعدها تتخذ الشكل المستدير . وعلى ذلك تتميز الجلاميد الصخرية تبعا لهذه العملية باستواء أسطحها الأملس وشدة درجة انصقالها .

(هـ) عامل التعلق *Suspension* :

تنقل مع مياه النهر كذلك كميات هائلة من الرواسب الصغيرة الحجم ، القليلة الكثافة التى تتعلق فى المياه تبعا لخفة وزنها ولا تلتصق بقاع النهر . ومثل هذه المواد الخفيفة الوزن الدقيقة الحجم جدا ، تنقل مع تيار النهر لمسافات طويلة صوب الجزء الأدنى من النهر .

على ذلك فإن الجزء الأكبر من الرواسب التى يحملها النهر يعتبر مصدرها الأساسى الرواسب التى تجلبها الأمطار والسيول ، وزحف الأجزاء العليا من السطح *Surface Creep* ، وانزلاق الأرض ، وكذلك الرواسب التى تجرفها الأودية الجبلية *Gullies* . هذا إلى جانب أثر بعض العوامل الخارجية الأخرى مثل الرواسب التى تجلبها الثلاجات والأنهار الجليدية وتلك التى ترسبها الرياح . ونتيجة لاختلاف تكوين هذه الرواسب وتنوع أحجامها وكثافتها تختلف طريقة نقلها مع تيار مجرى النهر .

وقد أكدت الدراسات الجيومورفولوجية على أن مقدرة النهر على النقل تزداد مع زيادة سرعة تياره . فعندما تزيد سرعة تيار النهر يمكن له أن يحمل الجلاميد الصخرية الكبيرة ، أما اذا انخفضت السرعة لسبب من الأسباب فقد يصبح فى قدرة النهر أن ينقل الصغير الحجم من الرواسب ، بينما يبقى كبير الحجم منها فوق قاعه فى انتظار حدوث تيارات مائية شديدة تكمل دورة عملية النقل (لوحة ٤٤) .



(لوحة ٤٤) مفتتات ارسابية فى أعالى أرضية نهر شبه جاف فى انتظار عملية نقلها مرة أخرى عندما يفيض النهر بالمياه

وتختلف كمية المواد الذائبة فى مجرى النهر من جزء إلى آخر ، وكذلك من فصل إلى آخر فى مجرى النهر الواحد . وقد اتضح من نتائج الدراسات الجيومورفولوجية أن المتوسط السنوى لمقدار حمولة أنهار العالم تبلغ نحو ٨٠٠٠ مليون طن من مفتتات الصخور ويصب معظمها فى البحار والمحيطات ، وتبلغ نسبة المواد الذائبة فيها نحو ٣٠ ٪ من هذه الكمية .

ثانيا : المجرى النهرى المثالى وأهم الظاهرات الجيومورفولوجية فى واديه خلال مرحلة الشباب :

يتميز النهر المثالى الدافيزى فى مرحلة الشباب باعتدال كل من انحداره وسرعة جريانه وتقل نسبيا درجة النحت الرأسى ، ذلك لأن منسوب النهر عادة لا يكون على ارتفاع كبير بالنسبة لمستوى القاعدة العام كما هو الحال فى أعالى النهر أو فى حالة كون الروافد النهرية فى مرحلة الطفولة . وعلى ذلك يفتح النهر المجال لبداية فعل الإرساب وتكوين الجسور والمصاطب أو المدرجات على جانبيه وتعديل وتسوية مجراه وتنظيم انحداره . ويقصد بتعبير «مستوى القاعدة العام» منسوب سطح البحر الذى يقدر بمنسوب صفر ، وامتداده الوهمى تحت سطح الأرض . وتعمل كل الأنهار التى تصب فى البحر جاهدة للوصول إلى هذا المنسوب حتى تصل إلى مرحلة التعادل *State of Equilibrium* . وعلى ذلك أصبح معروفا بين الباحثين أن مستوى القاعدة العام *Base-level* هو منسوب سطح البحر العام *Sea-level* الذى تصب فيه معظم أنهار العامل الكبرى مثل المسيسبى والنيل والامزون ، والراين والكانج والسند وايراوادى ، وغيرها كثير .

ومن المعروف أن كل أنهار العالم لا تصب في البحار والمحيطات ، بل قد يصب بعضها كذلك فى بحار داخلية صغيرة أو فى بحيرات أو فى جوف الأرض . ومن ثم نجد أن الأنهار فى هذه الحالة تنحت مجراها وتعمل للوصول إلى مستوى القاعدة المحلى *Local-base Level* لمصابتها والذى قد يكون أعلى أو أقل من منسوب سطح البحر . ففى القارة الأوربية تصب بعض

الأنهار أو أجزاء من أنهار مختلفة فى بحيرات يكون منسوب هذه الأخيرة بمثابة مستوى القاعدة المحلى لعمليات النحت الرأسى لهذه الأنهار . وترتفع منسوب معظم بحيرات قارة أوربا ارتفاعا ملحوظا فوق مستوى سطح البحر ومن أمثلة ذلك بحيرات لادوجا *Ladoga* وارتفاعها ١٦ قدما وجينيف *Genva* وارتفاعها ١٢٣٠ قدم وكونستانس *Constance* وارتفاعها ١٣٠٥ قدم فوق مستوى سطح البحر . ويتمثل فى القارة الآسيوية بحار صغيرة مقفلة وبحيرات داخلية قد يرتفع منسوبها أو ينخفض عن مستوى القاعدة العام . وتؤثر هذه بدورها فى عمليات النحت الرأسى ومدى فعل التعرية النهرية بوجه عام . ومن البحيرات التى يرتفع منسوبها فوق مستوى سطح البحر فى القارة الآسيوية بحر آرال *Aral* وارتفاعه ١٥٧ قدم وبحيرة وبيكال *Biaikal* وارتفاعها ١٧٠٦ قدم وأرميا *Urmia* وارتفاعها ٤٠٠٠ قدم وأعلى بحيرة فى آسيا هى كوكونور *Kuku Nor* وارتفاعها ١٠٧٠٠٠ قدم فوق سطح البحر . ومن بحارها الصغيرة المغلقة التى تنخفض عن منسوب سطح البحر العام ، بحر قزوين وينخفض نحو ٨٤ قدما تحت سطح البحر والبحر الميت وينخفض نحو ١٢٩١ قدم تحت سطح البحر .

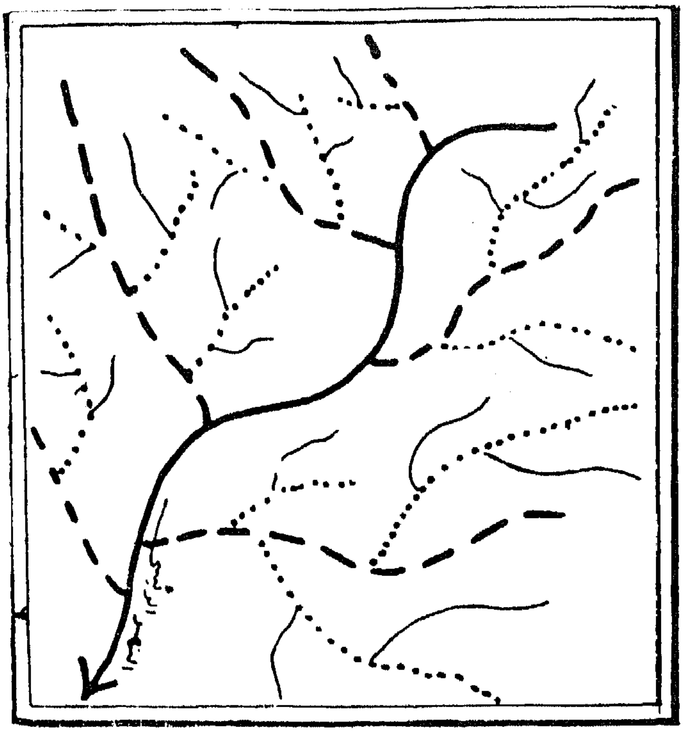
ويرتفع منسوب معظم بحيرات القارتين الأمريكتين عن مستوى سطح البحر العام . وأهم هذه البحيرات متشجن *Michigan* وترتفع نحو ٥٨٢ قدم وسوبيريور *Superion* وترتفع نحو ٦٠٢ قدم ويني‌بيج *Winnipeg* نحو ٧٢٢ قدم ، وجريت سولت ليك *Great Salt Lake* وارتفاعها ١٥,٥٤٠ قدم . ويرتفع منسوب بحيرات القارة الأفريقية كذلك فوق مستوى سطح البحر . ومن أهم هذه البحيرات فكتوريا *Victoria* وترتفع نحو ٣٩٠٠ قدم وتنجانيقا *Tanganyika* و ترتفع نحو ٣٦٨٠ قدم ، ونياسا وترتفع ١٧٠٠ قدم وردولف *Rudolf* وترتفع نحو ١٢٠٠ قدم ، وبحيرة ألبرت *Albert* نحو ٢١٦٥ قدم . أما بحيرة اير *Eyre* فى استراليا فهذه تنخفض بنحو ٢٦ قدما تحت مستوى سطح البحر .

وهناك كذلك عديد من الأنهار ذات تصريف داخلى بمعنى أنها لا تتجه صوب البحر أو بحيرة ما ، بل تنتهى مصباتها فى منخفضات قارية أو مناطق صحراوية . ومن بين أمثلة ذلك بعض الأودية النهرية والأودية الجافة فى الصحراء الشرقية المصرية وفى الصحراء الكبرى جنوب مرتفعات تبستى والحجار . وفى المناطق التى كانت واقعة بجوارها نهايات النطاقات الجليدية والبلايوستوسينية فى أوربا وآسيا وأمريكا الشمالية والتى يطلق عليها تعبير «الأراضى شبه الجليدية» *Periglacial Regions* ، تعرضت لسقوط الثلج الغزير أثناء فصل الشتاء وتجمعه فى المقعرات الجبلية . ويتعرض هذا الثلج أثناء الصيف القصير للانصهار السريع وبالتالى نجمت عنه كميات هائلة من المياه شقت لنفسها مجارى نهرية على طول مناطق الضعف الجيولوجية وفوق الصخور اللينة مثل طبقات الطين . وتتجه هذه المجارى الأخيرة عادة مع الانحدار العام لسطح الأرض صوب الأجزاء الدنيا وتصب فى الأنهار المجاورة . إلا أن بعضها كذلك لا يصب فى أنهار بل ينتهى ويتلاشى بالتدريج فوق مصاطب صخرية مستوية السطح . وبدراسة هذه الأودية الجافة حاليا (حيث أن الظروف المناخية التى كونتها فى الماضى ليست مماثلة للظروف المناخية الحالية) على السفوح الجنوبية الشرقية لجبال البنين البريطانية ، تبين أن درجة نحتها الرأسى تتشكل تبعا لاختلاف التكوين الصخرى الذى تتكون فوقه وبالتالى فهى تعمل للوصول إلى مستوى القاعدة المحلى أو الصخرى *Local or Structural Base level* . واذا ما ظهر ما يشبه نقط التجديد على طول القطاعات الطولية لهذه المجارى فتعرف هذه بدورها باسم نقط التجديد المحلية الصخرية *Structural Knickpoints* . ولا تعتبر الظروف المناخية العامل الوحيد الذى ينجم عنها تشكيل المجارى النهرية ، بل للتكوين الصخرى واختلاف صلابته أثره البالغ فى هذا المجال . فمعظم المجارى النهرية التى تتكون فوق طبقات الكارست الجيرية لا تتأثر فى نحتها الرأسى بمستوى القاعدة العام وذلك لارتفاع مسامية الصخور وانفاذها المياه وسرعة تحللها الكيميائى من ناحية وأن مصبات بعض هذه

المجارى توجد فى جوف الصخر والكهوف من ناحية أخرى . ولا تختلف سرعة النحت الرأسى للمجارى النهرية من نهر إلى آخر فى النهر الواحد خلال أزمنة مختلفة فقط ، بل تختلف كذلك على طول أجزاء النهر الواحد فى زمن واحد معين حيث يختلف أثر فعل النحت الرأسى تبعا لبعد مجرى النهر من المصب . ولهذا تشتد عمليات النحت الرأسى ويزداد أثرها فى الأجزاء العليا من الأنهار ويقل هذا الأثر كلما اتجهنا نحو المصب .

وتجدر الاشارة إلى أن جميع الروافد النهرية للنهر الرئيسى لا تنحت مجراها رأسيا متتبعة مستوى القاعدة العام . بل فى الحقيقة إذا ما بعدنا النظر عن تفاصيل المجرى النهرى الرئيسى من تكوين جنادل وشلالات وبحيرات ... فإن النهر الرئيسى هو الذى ينحت رأسيا متتبعا مستوى القاعدة العام وهو منسوب سطح البحر الذى يصب فيه ، ولكن تتوقف درجة النحت الرأسى فى الروافد الأخرى وفقا للمنسوب الذى تتصل عنده مصبات هذه الروافد مع نقطة اتصالها بالنهر الرئيسى أو بروافد أخرى . فكما يتضح فى شكل ٧١ أن الروافد الرئيسية للنهر الأصلى وهى أنهار المجموعة الأولى (ذات الخطوط السميكة المتقطعة) تنحت رأسيا متتبعة مستوى القاعدة المحلى ، وهو منسوب منطقة اتصال مصبات هذه الروافد مع نقطة اتصالها بالنهر الرئيسى . أما أنهار المجموعة الثانية (ذات النقط السميكة) فهى تنحت رأسيا كذلك حسب مستوى القاعدة المحلى وهو منسوب نقطة اتصال مصباتها عند التقائها بالروافد المختلفة وهلم جرا .

يتضح من هذا العرض أن جميع أنهار العالم لا تعمق مجاريها وفقا لمنسوب واحد معين ، بل يعمل معظمها وخاصة الأنهار الرئيسة التى تصب فى البحار الواسعة حسب مستوى القاعدة العام ، ولكن ينحت بعضها الآخر مجراه رأسيا تبعا لمستوى القاعدة المحلى الذى قد يكون أكثر ارتفاعا أو انخفاضا عن مستوى القاعدة العام ، كما أن مجرى النهر نفسه دائم التغير والتطور ، فهو يعمل جاهدا للوصول إلى مستوى القاعدة العام ، ولكن هناك



(شكل ٧١) تقسيم مجموعات المجارى النهرية حسب المنسوب الذى تنحت إليه رأسيا

بعض العوامل التى قد تؤدى إلى تغيير مراحل تطور النهر وتجديد أو تعطيل مراحل نموه ، ويمكن حصر أهم هذه العوامل فى النقاط الآتية :

١ - زيادة حجم المياه فى المجرى النهرى لسبب ما (قد يكون تذبذب المناخ - أمطار اعصارية فجائية أو سيول) تعمل بدورها على زيادة سرعة النهر ، وقد تتجدد قوة النهر فى النحت والتعرية بمساعدة ما يحمله من رواسب ومن ثم يعمل على تعميق مجراه من جديد بعد أن كان قد وصل إلى مرحلة هادئة من مراحل نموه .

٢ - حدوث الصدوع التى تتعامد أسطحها على امتداد مجرى النهر ، وقد تؤدى إلى تكوين الجنادل أو المسقاط المائية ، وتساعد بدورها على تكوين مستويات قاعدة محلية ، فيعمل النهر ثانية للوصول إلى هذه

المناسيب الجديدة .

٣ - حدوث عمليات الاسر النهرى تجعل بدورها الروافد التى كانت متتبعة فى نحتها الرأسى مستوى قاعدة الأنهار التى أسرت تغير من مظهرها ودرجة نحتها الرأسى تبعا لاختلاف مستوى القاعدة المحلى الجديد للأنهار الآسرة .

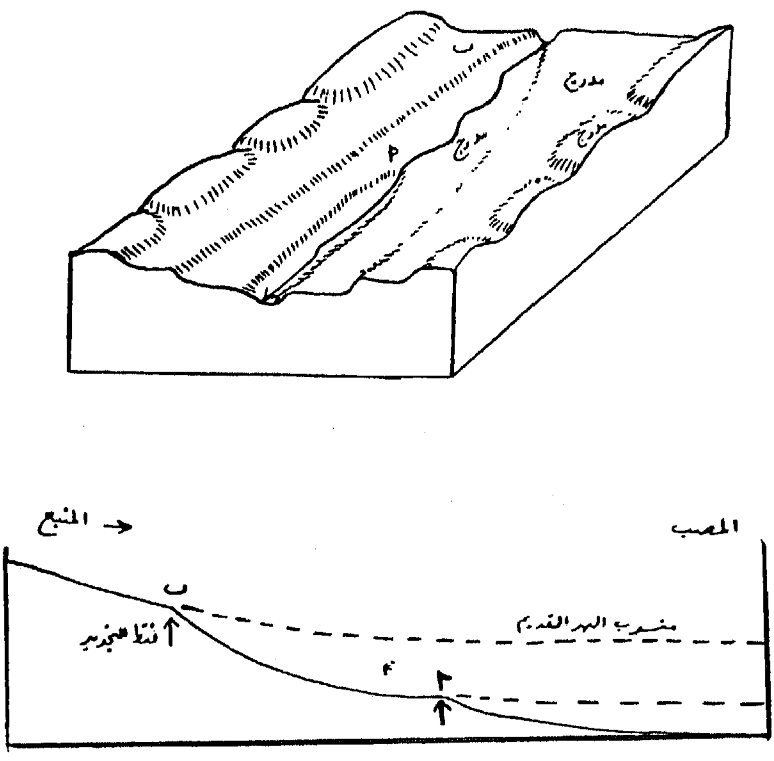
٤ - تعرض مجرى النهر لحركات ارتفاع تكتونية أو انخفاض منسوب سطح البحر الذى يصب فيه النهر ، وينجم عن ذلك تجديد فعل النحت الرأسى النهرى ، وتعميق روافد النهر للوصول إلى المستوى الجديد الذى هبط إليه البحر .

وإذا ما تعرض المجرى النهرى لحركات ارتفاع تدريجية دائمة أو متقطعة أو انخفض منسوب سطح البحر الذى يصب فيه انخفاضا متقطعا على مر الأزمنة كما حدث ذلك فى معظم أنهار المناطق المعتدلة الباردة تبعا لانخفاض منسوب سطح البحر التدريجى المتقطع منذ أواخر عصر البلايوستوسين حتى العصر الحديث ، (تجمع الجليد فى الفترات الباردة وانصهاره فى الفترات الدفيئة) ، فتؤدى هذه العملية إلى تجديد نشاط النهر فى مرحلة هبوط منسوب سطح البحر حتى يصل إلى مرحلة هادئة تقل فيه قوة النحت ثم يتعرض النهر من جديد لمرحلة يجدد فيها نشاطه ويعمق مجراه تبعا لانخفاض منسوب سطح البحر ثانية .

وعلى ذلك تتميز معظم أنهار المناطق المعتدلة والمعتدلة الباردة بأن أشكال القطاعات الطولية لمجاريها تظهر على شكل مصاطب متعاقبة ذات شكل سلمى تبعا لتوالى تجديد نشاط الأنهار ولتعاقب عمليات نحتها الرأسى الشديد

وتظهر مناطق تجديد نشاط النهر واضحة فى الحقل ، وكذلك على الرسوم البيانية حيث تتخذ شكل محدبات ظاهرة *Convexities* فى مجرى النهر ويطلق عليها تعبير «نقط التجديد» *Points of rejuvenation or*

Knickpoints (شكل ٧٢) . ويجب أن يميز الباحث أصل هذه التحدبات التى تظهر على طول المجرى الطولى للنهر بعد رفعه أو مسحه . فهل هذه التحدبات هى حقا نقط تجديد ترجع نشأتها إلى توالى انخفاض منسوب سطح البحر المتقطع ؟ أم ترجع إلى عوامل أخرى مثل حدوث حركات تصدع أو اختلاف فى التركيب الصخرى ؟ . ويمكن الاجابة على هذه الاستفسارات بعد عمل دراسة تفصيلية لمورفولوجية المجارى النهرية فى الحقل . كما يمكن كذلك تصنيف بعض نقط التجديد فى مجموعات تمثل كل مجموعة منها مرحلة من مراحل تطور النهر والعلاقة بينه وبين ذبذبات مستوى سطح البحر وتكوين السهول التحاتية والمدرجات النهرية فى الأودية .



(شكل ٧٢) نقط التجديد على طول المجرى النهرى (أعلى)
والعلاقة بينها وبين المدرجات النهرية (أسفل)

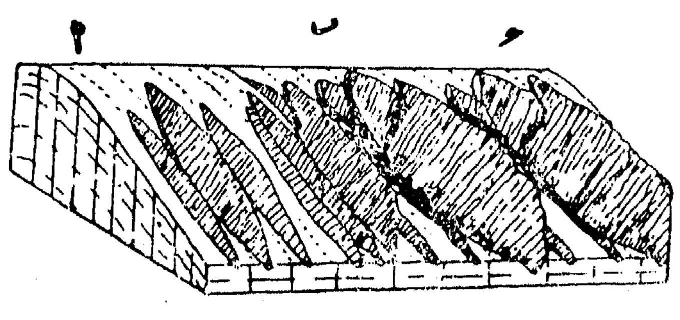
وتجدر الاشارة إلى أنه من المستحيل أن يصل أى نهر فوق سطح الأرض على امتداد كل مجراه إلى منسوب سطح البحر الذى يصب فيه وإلا يصبح النهر جزءا أو لسانا من هذا البحر . ولكن عند وصول بعض الأنهار إلى مرحلة الشيخوخة تتميز مجاريها ببطء جريانها وضعف انحدارها . وعند وصول النهر إلى هذه الحالة والتى يطلق عليها اسم مرحلة التعادل أو التوازن *State of Equilibrium* فإن النهر قد وصل إلى مرحلة توازن فيها منحنى مجراه بالنسبة للتكوين الصخرى *Reached Grade* . وعلى ذلك يطلق الباحثون على النهر نفسه فى هذه الحالة بأنه منحوت بتوازن *Graded Stream* وهناك علاقة قوية بين النحت الرأسى للنهر تبعا لوصوله إلى مستوى القاعدة العام وبين كميات الرواسب التى يحملها النهر نفسه ومدى استطاعته حملها وارسابها . فإذا ازدادت قدرة النهر على الحمل أو بمعنى آخر أصبح فى امكان النهر أن يحمل من الرواسب اضعاف ما يحمله عادة فإن النهر يعمل على زيادة قوة نحته الرأسى ويكون لنفسه مجرى ثابتا يطلق عليه اسم النهر المنحوت *Degraded Stream* ، وتعرف العملية نفسها باسم النحت أو التفسخ *Degradation* . أما اذا ازدادت كمية الرواسب التى يحملها النهر عن طاقة النقل النهرى ، فقد ينجم عن ذلك ارساب بعض من هذه الرواسب على شكل رواسب فيضية أو غطاءات وفرشات للمدرجات النهرية ، ويبنى النهر لنفسه قاعا نهريا متسعا ، مغطى بالرواسب ويطلق على النهر فى هذه الحالة تعبير النهر البناء أو المرسب *Aggraded Stream* وتعرف العملية نفسها باسم البناء الارسابى *Aggradation* .

تكوين الأودية النهرية الرئيسة

Development of Master Streams

فوق أسطح الأراضى المنحدرة التى تراجع البحر عنها حديثا أو تلك الأسطح ذات الانحدار الشديد فى المناطق الغزيرة الأمطار تتكون عديد من المجارى المائية التى تتبع اتجاهاتها الانحدار العام لسطح الأرض ، والذى

يكون فى معظم الأحيان مع اتجاه ميل الطبقات . وتبدو هذه المجارى الأخيرة على شكل مجارى نهرية طولية موازية لبعضها ويختلف بعد المسافة التى تفصل جانبى كل منها تبعا لاختلاف التركيب الصخرى وكمية الأمطار الساقطة . ويطلق على مثل هذه المجارى تعبير «المجارى الأولية» *Extended Consequent Streams* وإذا كان نوع الصخر الذى تتكون فوقه مثل هذه الأنهار تتألف من الطين أو الصلصال ، فتظهر موازية لبعضها وعلى مسافات قريبة أيضا من بعضها البعض الآخر *Closely-Spaced Consequent Streams* وقد تختلف أعماق مجارى هذه الأنهار أو بمعنى آخر المنسوب الذى تعمل إليه من مجرى إلى آخر . فإذا كان هناك واديا أكبر حجما وعمقا من الأودية الصغيرة المجاورة له فإنه قد يعمل على جمعها فى واديه نتيجة لسرعة التعرية الخلفية والجانبية التى يقوم بها بالنسبة للأنهار الأخرى المجاورة . وعلى ذلك ففى مرحلة تالية تتقارب خطوط تقسيم المياه بين هذه الأودية وقد تلتحم مع بعضها البعض أو قد ينفصل بعض منها عن الوادى الرئيسى الذى يعرف باسم *Master Stream* بواسطة حافة جبلية شديدة الانحدار تفصل بين الأودية وتقوم بمثابة خط تقسيم المياه (شكل ٧٣) . وفى مرحلة متأخرة نتيجة لزيادة التراجع الخلفى والنحت الجانبى وعن طريق عوامل أخرى خارجية مثل الانزلاقات الأرضية تؤدى كلها إلى جمع الأودية الصغيرة فى الوادى الكبير الذى يكون منسوبه أكثر انخفاضا عنها جميعا ،



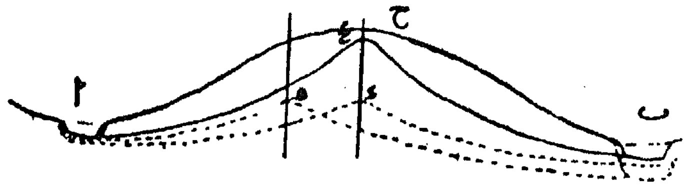
(شكل ٧٣) التحام الأودية الصغيرة فى الوادى الرئيسى

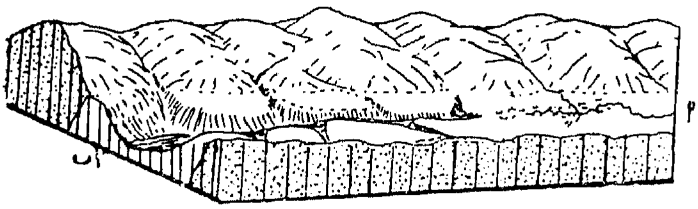
والذى ينحت رأسيا وفقا لمستوى قاعدة أقل منسوبا من الأودية الأخرى . وتعرف عملية تآكل جوانب الأودية الصغيرة وتجميعها فى داخل الأودية الكبيرة باسم العملية التجريدية *Abstraction* ، وقد يطلق عليها تعبير «المقاومة فى سبيل البقاء» *The struggle for existence* .

ذبذبة خط تقسيم المياه

Shifiting of Divides

قد تتميز مناطق ما بين الأودية فوق السهول التحاتية المتأثرة بالتقطع النهرى المتباعد *Wide-texture of dissection* بإتساعها . أما فى المناطق التى تأثرت بالتقطع النهرى المتقارب *Close texture of dissection* فتظهر مناطق ما بين الأودية ضيقة ومحدودة الاتساع . وعندما يزداد فعل كل من النحت الرأسى والجانبى تنكمش مناطق ما بين الأودية ومن ثم تظهر خطوط تقسيم المياه واضحة ظاهرة حيث تبدو على شكل حواجز جبلية تتبع امتداداتها نفس اتجاه الأنهار ، أو بمعنى آخر تسير موازية للمجارى النهرية المختلفة التى تفصل هى بين أوديتها . ولكن لا تبقى خطوط تقسيم المياه بين الأودية النهرية المختلفة فى مكانها دائما دون تغير ، بل تتذبذب حسب سرعة التعرية النهرية أو بطئها ، ومدى تآكل جانبى خط تقسيم المياه . فإذا كان هناك نهرا على جانب خط تقسيم المياه أقوى نحتا من النهر فى الجانب الآخر وكليهما ينحت رأسيا بشدة ، فإن التغير فى موضع خط تقسيم المياه يكون سريعا ويطلق عليه تعبير *Leaping of the divide* . أما إذا كان التغيير بطيئا وتدريجيا فيطلق عليه فى هذه الحالة اسم *Creeping of the divide* ويتضح فى شكل (٧٤) أن السطح «ح» هو السطح الأصلى *Initial Surface* على فرض أنه كان فعلا بهذا الشكل ، ثم تكون كل من نهرى أ ، ب . ونتيجة لفعل التعرية النهرية الرأسية والأفقية صارت منطقة «ح» هى منطقة خط تقسيم المياه بين هذين النهرين . وفى مرحلة تالية نتيجة لتوالى عمليات النحت الرأسى للنهرين ، أ ، ب ، ينخفض سطح الأرض تدريجيا إلى منطقة «د» التى





(شكل ٧٤) ذبذبة خط تقسيم المياه

تقع أسفل منطقة «ح» مباشرة . ولكن فى مرحلة متأخرة أخرى ، قد يكون النحت الرأسى لنهر «ب» فيها أشد منه فى نهر «أ» وعلى ذلك تكون درجة النحت الجانبى والتعرية الخلفية لنهر «ب» كذلك أشد منها فى حالة نهر «أ» وروافده . ومن ثم ينخفض سطح الأرض وتتراجع منطقة تقسيم المياه على جانب نهر «ب» أسرع منها فى الجانب الآخر وتصبح منطقة «هـ» كما هو واضح فى شكل ٧٤ هى خط تقسيم المياه بين هذين النهرين .

وقد يرجع السبب فى اختلاف سرعة النحت الرأسى لنهر «ب» عن نهر «أ» إلى أن الأول ربما كان يعمل لمنسوب قاعدة عام أشد انخفاضا من منسوب قاعدة نهر «ب» أو إلى اختلاف التكوين الصخرى ، بمعنى أن نهر «ب» ربما كان يقطع صخورا أكثر ليونة منها فى حالة صخور نهر «أ» .

الأســـر النهـــرى

River Capture

من خصائص الأنهار فى مرحلة الشباب استمرار حدوث تعديل مجاريها وتوالى عمليات النحت الرأسى والأفقى . وتؤدى هذه العمليات كما سبقت الاشارة من قبل إلى استمرار مقاومة الأودية الرئيسة *Master Valleys* الكبيرة فى سبيل البقاء . أو بمعنى آخر تجميع الأنهار القصيرة داخل نطاق أودية الأنهار الكبيرة وتعرف عملية تحويل مجرى نهرى من مجراه الأول إلى حوض مجرى نهرى آخر باسم عملية الأسر النهرى *River Capture* . ويطلق على النهر المأسور تعبير *Diverted or Captured* أما النهر الآسر فيعرف باسم *Capturing Stream* ويعمل هذا النهر الأخير لمستوى قاعد أشد عمقا أو أكثر انخفاضا من الأنهار الأخرى المجاورة له وذلك قد يرجع إلى :

أ - كونه نهرا رئيسا يعمل لمستوى القاعدة العام فيتميز بشدة عمق مجراه وشدة انحداره ونشاطه .

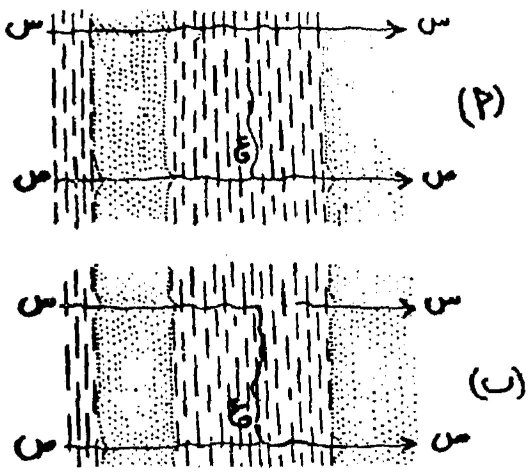
ب - شق المجرى على طول مناطق الضعف الجيولوجية مثل الصدوع والشقوق والفتحات الصخرية وكذلك على طول نطاق الصخور اللينة .

جـ - احتوائه على كميات من المياه فى مجراه أكبر حجماً من تلك التى فى المجارى الأخرى .

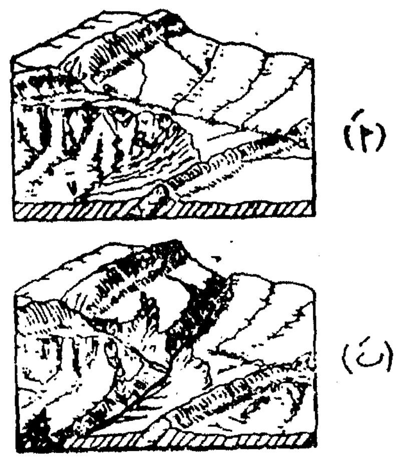
وعلى ذلك تكون درجات تحاته الرأسى والأفقى أكبر منها فى النهر المقابل من الجانب الآخر . وينجم عن ذلك تراجع النهر الرئيسى بسرعة نحو المنبع وبذا تكون درجة التراجع الخلفى للنهر الرئيسى أسرع منها فى النهر المقابل . وبتوالى عمليات النحت والتراجع يمكن للنهر الأسرع تراجعا أن يأسر أجزاء من الأنهار الأخرى المجاورة التى تعمل لمنسوب أعلى من منسوب قاعدة النهر الرئيسى .

ويوضح شكل ٧٥ وشكل ٧٦ ، تطور عمليات الأسر النهرى . ففى هذين الشكلين يظهر نهران متوزايان هما (س ، ص) ، يشقان مجريهما فى صخور لينة وصخور صلبة ، وتصادف أن نهر «ص» يغذيه رافد عرضى هو «ع»

الذى يمتد مع اتجاه مضرب الطبقات ، ويحفر مجراه على طول نطاق الصخور اللينة ، وكلها عوامل تساعده على سرعة تراجعه الخلفى . فإذا كان نهر «ص» يعمل تبعا لمستوى قاعدة أكثر انخفاضا منه فى حالة نهر «س» وحيث إن نهر «ع» يقطع مجراه على طول نطاق من الصخور اللينة السريعة التآكل فإن عملية التراجع الخلفى لنهر «ع» ستكون سريعة ، ويتميز النهر بشدة عمقه وشدة انحدار جوانبه . ويتوالى عمليات النحت والتراجع الخلفى . فإن



(شكل ٧٥) تطور عملية الأسر النهرى



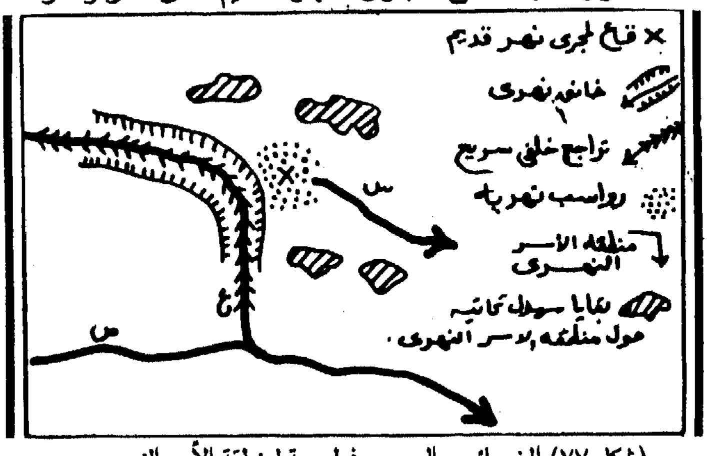
(شكل ٧٦) تطور عملية الأسر النهرى فى منظور مجسم

نهر «ع» يأسر جزءا من نهر «س» ويتحول مجرى هذا الجزء ضمن نهر «ع» ومن ثم يطلق على الجزء المتخلف من نهر «س» اسم النهر المبتور أو المقطوع الرأس *Becheaded Stream* (١) وينفصل هذا النهر عادة عن منطقة الأسر النهرى بمنطقة من سطح الأرض تتميز باستواء أسطحها ، وقد تحتوى على رواسب نهرية خاصة فى حالة إذا ما كانت عملية الأسر النهرى حديثة العمر وتعرف باسم الثغرة الهوائية *Wind Gap* . أما المجرى النهرى فى منطقة الأسر «ع» والذى يتكون من كل من نهرى (س ، ص) فهذا يكون غالبا على شكل زاوية قائمة أو انثناء واضح وتعرف المنطقة هنا باسم كوع الأسر النهرى *Elbow of capture* .

ويمكن للباحث أن يميز فى الحقل منطقة حدوث الأسر النهرى (شكل ٧٧) ، وذلك بملاحظة الخصائص التالية :

١ - يمتد النهر المتخلف أو المبتور الرأس *Beheaded Stream* على شكل اتجاه مجرى النهر المأسور .

٢ - وجود منطقة مستوية السطح بين النهر المتخلف والنهر المأسور وهى التى كانت تحتوى سابقا على مجرى النهر القديم الذى أسر وتعرف هذه



(شكل ٧٧) الخصائص الجيومورفولوجية لمنطقة الأسر النهرى

---

(١) أطلق على النهر المتخلف تعبير «النهر المبتور» فى المصطلحات الجغرافية التى قامت بها لجنة المجلس الأعلى لرعاية الفنون والآداب والعلوم الاجتماعية عام ١٩٦٥ .

أيضا معرفة منسوب أو ارتفاع مجرى النهر بالنسبة لسطح البحر ابان حدوث عملية الأسر نفسها ، بل والزمن التقريبى لهذه العملية وذلك من دراسة الخصائص الجيومورفولوجية ، وتحديد ارتفاع منطقة الثغرة الهوائية ، والتى تمثل بمعنى آخر منسوب المجرى النهرى القديم الذى تم أسره .

٣ - اذا كانت عملية الأسر النهرى حديثة العُمر فقد تحتوى منطقة الثغرة الهوائية على رواسب نهرية قديمة *Former river deposits* تتألف من الحصى والزلط الأملس المستدير المصقول السطح . وهذه الرواسب ان وجدت فى مناطق الثغرات الهوائية فإن دلت على شئ فإنما تدل دلالة قاطعة على أن هذه المنطقة السهلية الجافة الآن كان يشغلها مجرى نهرى قديم غير اتجاه مجراه نتيجة لعملية الأسر النهرى .

٤ - تبدو منطقة الأسر النهرى عادة على شكل انثناء واضح فى مجرى النهر وقد تتكون من أجزاء من مجارى نهرية على شكل زاوية قائمة «كوع الأسر» *elbow of capture* فإذا لم ترجع نشأة كوع الأسر إلى أسباب تكتونية أو صخرية فقد يكون مرجعها هو نتاج الأسر النهرى .

٥ - نتيجة لأن مجرى النهر الآسر ترد إليه مياه جديدة فى مجراه تبعا لتحويل مياه النهر المأسور إلى مجرى النهر الآسر ، فإن زيادة كمية المياه هذه تعمل على زيادة النحت الرأسى فى منطقة الأسر . وتبدو هذه المنطقة الأخيرة فى الحقل على شكل خانق نهرى عميق تحفه جوانب نهرية شديدة الانحدار ويعرف باسم الخوانق أو الثغرات المائية *Gorges or Water Gap* .

٦ - يعتبر النهر المتخلف أمام منطقة الثغرات الهوائية *Wind Gap* نهرا ضعيفا فقد نشاطه وحيويته بعد أن أسرت مجاريه العليا التى كانت تغذيه بالمياه ومن ثم يطلق عليه اسم النهر المأكول أو النهر الضامر الضعيف *Misfit Stream* ، وقد يتم نحته الرأسى كذلك وفقا لمنسوب قاعدة محلى أقل انخفاضا فى حالة النهر الآسر .

٧ - يمكن التأكد من حدوث عملية الأسر النهرى فى بعض الأحيان بواسطة بقايا سطوح التعرية النهرية وخصائص توزيعها الجغرافى فى المنطقة

التى تم فيها الأسر وحولها . فمنطقة الثغرات الهوائية مثلا تتميز بكونها أقل ارتفاعا من الأرض التى تقع حولها بنحو عشرات من الأقدام (لكونها مجرى نهرى قديم) وعلى ذلك لا تسمح بتكوين مثل هذه السطوح التى قد تتمثل على جانبيها وليس فى قاعها .

٨ – الاختلاف الواضح فى نظام مراحل نمو النهر الاسر ، وذلك نتيجة لضمه جزءا جديدا من مجرى النهر المأسور فقد يكون لهذا الجزء خصائص ومزايا جيومورفولوجية مختلفة لا تتمشى مع النظام العام لمراحل نمو النهر العادى الذى لا يطرأ عليه مثل هذا التغيير والتشكيل .

يتضح من هذا العرض أن معظم عمليات الأسر النهرى تحدث نتيجة لزيادة التراجع الخلفى أو لشدة النحت الرأسى للأنهار التى تتجه مجاريها مع امتداد مضرب الطبقات وتشقها كذلك على طول مناطق الضعف الجيولجى والتى تعرَف باسم أنهار مضرب الطبقات أو الأنهار الثانوية التالية *Subsequent or Strike Streams* ، ويزداد نموها تبعا لتوالى عمليات النحت الرأسى للنهر الرئيسى الذى تصب فيه والذى يتبع مجراه عادة ميل الطبقات ولذا يعرف باسم نهر ميل الطبقات أو النهر الأصلى .

وقد تحدث بعض عمليات الأسر النهرى نتيجة لتداخل عوامل خارجية ، فقد تؤدى التعرية الجليدية إلى تشكيل بعض المجارى المائية فى المنطقة وتغيير اتجاهاتها ، كما أن حدوث الحركات التكتونية قد يؤثر فى المظهر العام لمجرى الأنهار ، ويساعد على حدوث عمليات الأسر النهرى الطارئة . ومن المناطق التى تعرضت لعمليات الأسر النهرى نتيجة لزيادة التراجع الخلفى لبعض أنهارها عن مجارى أنهار أخرى مجاورة لعبض مناطق المنعطفات أو الثنيات فى أنهار آفون *Avon* ، وأعالى الترنت *Upper Trent* ، والدن *Don* بانجلترا . أما فى حالة الأسر النهرى بين نهر كيوارا *Kaiwarra* ونهر كاروري *Karori* فى نيوزيلند فقد نجمت تبعا لجريان النهر الآسر فوق مناطق صخرية ضعيفة جيولوجيا حيث تأثرت بحركات تصدع ساعدت على تراجع نهر كيوارا بسرعة نحو المنبع وتمكن من أن يأسر جزءا من مجرى نهر كاروري .

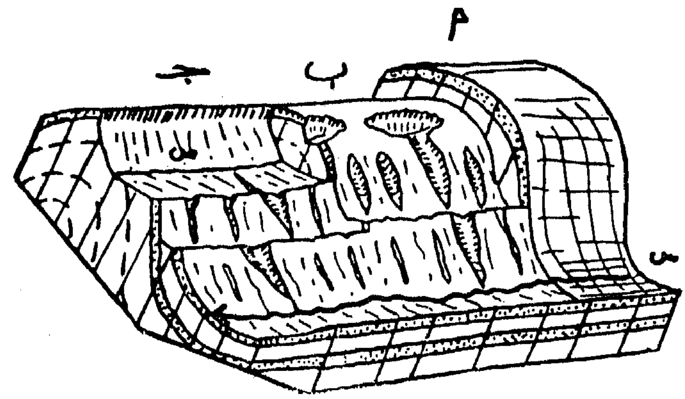
التعرية النهرية فوق كل من الثنيات الصخرية المحدبة والمقعرة

تختلف خصائص المجارى النهرية تبعا لنظام بنية الطبقات الصخرية التى تشقها . فتمتد الأنهار فوق السهل البحرى الذى يتألف من طبقات صخرية مائلة نحو البحر ، وينحدر سطح الأرض كذلك صوب هذا البحر ، ومن ثم تظهر هذه الأنهار على شكل مجارى نهرية طولية متوازية وتنحدر من المناطق المرتفعة إلى المناطق المنخفضة متتبعة الانحدار الأصلى لسطح الأرض واتجاه ميل الطبقات وتصب فى النهاية فى البحر . وقد يكون لهذه المجموعة من الأنهار روافد قصيرة عمودية على المجرى الرئيسى تشق طبقات الصخور اللينة أو تمتد فى اتجاه ميل مضرب الطبقات . وفى المناطق التى تأثرت صخورها بحركات رفع تكتونية تدريجية نجم عنها تكوين ثنيات صخرية محدبة وأخرى مقعرة ، فتتبع الأنهار الكبرى اتجاه ميل الطبقات الذى يشغل عادة قاع الثنيات المقعرة حيث تمثل هذه المواقع الأخيرة بقايا السطح الأصلى للمنطقة الذى لم يتغير كثيرا بفعل حدوث حركات الرفع . ولذا تبدو هذه الأنهار على شكل مجارى طولية وموازية لبعضها البعض تبعا لأثر حركات الرفع التكتونية التى تأثرت بها المنطقة .

ومن النادر أن تستمر انسياب المجارى النهرية مع اتجاه ميل الطبقات كما هى دون أن يطرأ عليها أى تغيير خاصة بعد أن تتم دورة تحاتية كاملة وأن يتعرض السطح إلى حركات تكتونية جديدة ، ذلك لأنه فى أثناء تكوين مثل هذه الحركات التكتونية يتغير امتداد المجارى النهرية وفقا لنظام بيئة الطبقات الصخرية ، كما يتجدد نشاط فعل النهر نتيجة لارتفاع سطح الأرض . وتتميز المنطقة بمظهر الشباب بعد أن كانت قد وصلت سابقا إلى مرحلة النضج . وتنشط عوامل التعرية الأخرى على طول نطاق الانحدارات الشديدة والحافات الجبلية . واذا استطاعت عوامل التعرية أن تؤثر فى مظهر سطح الأرض العام وتنحت فى كل صخور المنطقة بحيث يصبح من الصعب أن تتمثل بقايا من

ظاهرات سطح الأرض الشابة فيطلق على شكل السطح فى هذه الحالة بأنه فى مرحلة النضج . وقد تبين من نتائج الدراسات الجيومورفولوجية أنه من الصعب تفسير أوجه التغيير التى تطرأ على مظهر التصريف النهرى وطبيعته خاصة فى بداية مرحلة تعرض المنطقة إلى حركات الرفع التكتونية . وعلى ذلك سنحاول فيما يلى أن يكون هذا الوصف على أساس افتراضات نظرية ، ولا يلزم أن يكون صحيحاً فى كل حالات المناطق التى تعرضت لعمليات الرفع التكتونية . وأن نتصور كذلك أن سطح الأرض الذى تعرض لهذه العمليات الأخيرة لم ينشط فيه أثر فعل عوامل التعرية إلا بعد انتهاء حدوث هذه الحركات . فى هذه الحالة فإن الأنهار الرئيسة التى كانت تتبع ميل الطبقات ، تشغل مجاريها قاع الثنيات المقعرة ويطلق عليها اسم المجارى الطولية الرئيسة *Primary Consequent Streams* . وتعرف المجارى النهرية التى تنحدر على جانبى الثنيات لتصب فى النهر الرئيسى اسم الأنهار الأصلية الثانوية *Secondary Consequent* . وحيث أن منسوب مجارى هذه الروافد الفرعية أعلى من منسوب الأنهار الرئيسة ، كما أنها قد تشق طبقات من الصخور اللينة على جانبى الثنيات ، فقد ينجم عنها تكوين أنهار جديدة عرضية تمتد مع اتجاه مضرب الطبقات *Strike-line* وتشق طبقات الصخور اللينة على طول أعالى الثنيات الصخرية المحدبة وتعرف باسم الأنهار التالية *Subsequent Streams* .

ويوضح شكل (٧٨) ، تطور تكوين هذه المراحل ، ويظهر فيه جزء من ثنية صخرية محدبة وأخرى مقعرة ، تتألف من طبقتين من الصخور الصلبة تأثرت بعمليات الرفع التكتونية وتحصر بينها طبقات من الصخور اللينة . ففى المرحلة (أ) يلاحظ أن النهر الرئيسى الطولى الذى يتبع ميل الطبقات هو النهر (س) الذى يجرى فى قاع الثنية المقعرة ، ويشغل الأجزاء التى لم تتأثر كثيرا بحركة الرفع ومن ثم تعد جزءا من السطح الأصلى . أما فى المرحلة الثانية (ب) فنتيجة لتوالى عمليات التعرية المختلفة قد تتآكل طبقة الصخور الصلبة



(شكل ٧٨) التعرية النهرية فوق كل من الثنيات الصخرية المحدبة والمقعرة

العلوية وتفتح المجال لنشاط التعرية النهرية السريعة فى الصخور اللينة . وهذه سرعان ما تتآكل بسرعة وتكون أنهارا تشق مجاريها فى اتجاه مضرب الطبقات (نهر ص) . أما فى المرحلة الثالثة (ج) فهى تمثل مرحلة متأخرة وتوضح مراحل تكوين أنهار مضرب الطبقات نتيجة لتوالى عمليات التعرية النهرية فوق الطبقات الصخرية المنثنية .

توافق التصريف النهرى بالنسبة للتركيب الصخرى

Adjustment to Structure

حيث إن الأنهار التى تنشأ فى اتجاه مضرب الطبقات وتشق الصخور اللينة تتميز بأنها سريعة النحت الرأسى والأفقى فإن تراجعها الخلفى يكون أشد بكثير منها فى الأنهار الأخرى التى تجاورها . وبتوالى عمليات التراجع الخلفى وتكوين مجارى الأنهار فى نطاقات الصخور اللينة ، فإن مظهر سطح الأرض فى مرحلة من مراحل تطور التصريف النهرى يتميز بأن مناطق طبقات الصخور اللينة تقطعها أنهار قوية نشيطة تجرى فى اتجاه مضرب الطبقات . وفى هذه المرحلة التى لا يتأثر أشكال التصريف النهرى باختلاف انحدارات السطح الأولية *Initial Slopes* ، ويتوقف أشكاله تبعا لاختلاف

التكوين الصخرى يطلق عليها اسم مرحلة توافق أشكال التصريف بالنسبة للتكوين الصخرى وتركيبه .

وجدير بالذكر أيضا أن مرحلة التعادل وتكوين أنهار مضرب الطبقات تبدأ فى مرحلة الشباب*Youth Stage* ولكنها لا تنتهى خلال هذه المرحلة ، بل تستمر فى دورتها حتى حلول مرحلة النضج . وفى هذه المرحلة الأخيرة تظهر درجة التوافق بين كل من مظهر سطح الأرض والتصريف النهرى والتركيب الصخرى كذلك واضحة مميزة . وعلى ذلك فإن التصريف النهرى الذى يتشكل خلال هذه المرحلة يتكون من مجارى نهرية تشق طريقها خلال طبقات الصخور اللينة وتبدو طولية ومتوازية لبعضها البعض. وقد يكون لها روافدا صغيرة عرضية *Transeverse Portions* تنمو تحت أقدام الحافات الصخرية وعلى طول مضرب الطبقات . ويطلق على هذا المظهر من التصريف النهرى تعبير التصريف النهرى المتشابك *Trelised Drainage* .

ومن أظهر مراحل توافق كل من سطح الأرض والتصريف النهرى بالنسب للتركيب الصخرى ما يتمثل فى مناطق السهول التحاتية النهرية فى العالم . وتتمثل هذه المرحلة كذلك فى منطقة أرتاجو بنيوزيلند *Otago-New Zealand* حيث تبدو المجارى النهرية طولية متوازية على طول نطاق الصخور اللينة ، ويفصل بينها حافات جبلية موازية لها كذلك . ويعتبر التصريف النهرى فى أحواض كل من نهر «رازر» *Rother* (١) وأعالى وأواسط حوض نهر *Don* (٢) فى يوركشير وداربى شير بانجلترا متوافقا مع التصريف النهرى .

---

(1) Abou -El-Enin H S. "Some aspects of the drainage evolution" The Northern Univ Geographical Journal, No 5 (1964). 45 - 54 (A).

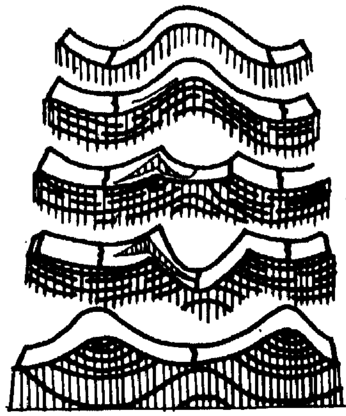
(2) Abou - El Enin H S . "An examination of suface forms in the area drained by the Sheaf, Upper Don "
Ph D Thesis, Univ, of Sheffield (1964) (B)

وعلى الرغم من أن أنسب الطبقات الصخرية لسرعة حدوث التوافق بين شكل سطح الأرض والتصريف النهر والتركيب الصخرى هى تعاقب طبقات صلبة فوق طبقات لينة الا أن مظهر التوافق هذا قد يحدث فى جميع أجزاء سطح الأرض وان اختلفت سرعة الوصول إلى درجة التوافق نفسها . ففى الصخور الشديدة الصلابة التى تجزأت بفعل فتحات الشقوق الصخرية أو تعرضت لحركات التصدع ، أو تأثرت بفعل توالى عمليات التجمد والانصهار *Freeze-thaw Action* كلها عوامل تساعد على تكوين أنهار تشق مجاريها فى مناطق الضعف الجيولوجى وتسير بالمنطقة خطوات متتابعة إلى مرحلة التوافق .

عدم التناسق بين مظهر سطح الأرض والتركيب الصخرى :

مما سبق يتضح أن توالى عمليات التعرية السريعة على طول المنحدرات الشديدة ، بمساعدة عمليات الرفع التكتونية فى نفس الوقت كذلك تؤدى إلى زيادة نشاط التعرية النهرية وتفتح المجال لتكوين أنهار عديدة تشق مجاريها على طول اتجاه مضرب الطبقات ، وتقطع الطبقات الصخرية التى تظهر بدورها فوق سطح الأرض . وبتكرار حدوث هذه العملية واستمرار فعل التعرية النهرية يتجه مظهر سطح الأرض إلى درجة التوافق بالنسبة للتكوين الصخرى . ونتيجة لزيادة النحت الرأسى والأفقى لهذه المجموعة من الأنهار فإنها تعمل على تآكل طبقات الصخور التى تكون قمم الثنيات المحدبة . ويتوالى عمليات النحت والتعرية فى أعالى المحدبات وتجمع الرواسب المختلفة فى المقعرات قد ينجم عن ذلك ظهور سطح الأرض بصورة تختلف عن نظام بنية الطبقات الصخرية . بمعنى أن الثنيات الصخرية المحدبة تظهر فوق سطح الأرض على شكل أحواض نهرية تشقها أنار فى اتجاه مضرب الطبقات ، بينما تظهر الثنيات الصخرية المقعرة على شكل حواجز جبلية عالية تفصل بين الأحواض النهرية المختلفة .

ويوضح شكل (٧٩) توالى مراحل هذه العملية . فمرحلتا أ ، ب تمثلان



(شكل ٧٩) عدم التناسق بين مظهر سطح الأرض والتركيب الصخرى

منطقة من سطح الأرض تأثرت بحركة رفع تكتونية أدت إلى انثناء الطبقات وتكونت ثنيات محدبة وأخرى مقعرة . وقد شغل قاع الثنيات المقعرة الأنهار الأصلية الرئيسة *Primary Consequent* ، وفى مرحلة «ب» تكونت بعض الروافد فى مناطق الضعف الجيولوجى فوق قمم الثنيات المحدبة ، وفتحت المجال لتكوين الأنهار التالية على طول مضرب الطبقات ، وتمثل مرحلة (حـ) توالى مراحل نمو الأنهار «التالية» . فتبعا لتوالى عمليات النحت الرأسى والجانبى السريع لهذه الأنهار ينخفض سطح الأرض فى مناطق أعالى الثنيات المحدبة . وبمساعدة فعل عوامل خارجية أخرى مثل الانزلاقات الأرضية ، وتعرية الأودية الجبلية *Gullies* تتفتت صخور المحدبات الجبلية وينخفض منسوبها ، وبذا قد تظهر فى مرحلة متأخرة على شكل منطقة سهلية مستوية السطح بعد أن تكون أنهار مضرب الطبقات سهولا تحاتية .

وتمثل مرحلة (د) فترة جديدة تزداد فيها قوة النحت الرأسى وقد ساعدت هذه العملية الجديدة تعميق الأودية النهرية فى أعالى المحدبات وبالتالى تمزيق ونحت الثنيات الصخرية المحدبة . وكما يبدو فى مرحلة متأخرة (هـ) توالى عمليات نحت الطبقات نتيجة لاستمرار التراجع الخلفى والنحت الرأسى للأنهار على طول اتجاه مضرب الطبقات . وتبقى مناطق صغيرة من صخور الثنيات الصخرية المقعرة حيث تظهر فوق سطح الأرض على شكل حواجز

جبلية تمتد موازية لمجارى أنهار مضرب الطبقات ويطلق عليها *Synclinal Subsequet Ridges* .

ويتضح من هذا العرض أن مظهر سطح الأرض العام الناتج عن استمرار حدوث عمليات التعرية النهرية ، ونمو أنهار مضرب الطبقات فى مناطق الثنيات المحدبة لا يتناسق عادة مع نظام بنية الطبقات الصخرية ، أو بمعنى آخر أن طبقات الثنيات المقعرة تظهر فوق سطح الأرض دائما على شكل حواجز جبلية عالية بينما تشق أنهار مضرب الطبقات صخور الثنيات المحدبة وتصبح الأخيرة فى النهاية على شكل مناطق حوضية سهلية . وتكاد تتمثل هذه الحالة من حالات عدم التناسق بين مظهر سطح الأرض والتركيب الصخرى أو انقلاب مظهر سطح الأرض *Inversion of relief* فى معظم المناطق الجبلية الطيية الكبرى فى العالم .

ثالثا : المجرى النهرى المثالى وأهم الظاهرات الجيومورفولوجية فى واديه خلال مرحلة الشيخوخة :

يتميز مجرى النهر خلال هذه المرحلة ببطء انحداره وهدوء جريانه وضعف درجة النحت الرأسى لقرب منسوب النهر من مستوى القاعدة العام ، ومن ثم يصبح الارساب من بين أهم العوامل التى يقوم بها النهر فى هذه المرحلة ، وتشكل الظواهر الناجمة عن فعل الإرساب المظهر الجيومورفولوجى العام لوادى النهر خلال مرحلة الشيخوخة . ويتميز القطاع العرضى للنهر باتساعه الملحوظ حيث تتكون فوقه السهول الفيضية والمدرجات النهرية . ويوضح الحديث التالى بعض العوامل والظاهرات الجيومورفولوجية الرئيسة التى تشكل المظهر العام لمجرى النهر وواديه خلال مرحلة الشيخوخة .

١- التعرية الجانبية *Lateral Corrasion* :

تضعف قوة النحت الرأسى للنهر خلال مرحلة النضج وتبطء سرعة جريانه ، ومن ثم يترنح مجرى النهر تدريجيا من جانب إلى آخر ويعمل على

اتساع قاع الوادى على حساب تآكل جانبيه بواسطة كل من فعل النحت الجانبى ، وكذلك سقوط الصخور وانزلاق الأراضى على طول الجوانب الشديدة الانحدار . وبالتالى قد يصل النهر إلى مرحلة هادئة وهى عبارة عن هدنة مؤقتة للصراع المستمر بين تغيير مستوى القاعدة العام وتجديد نشاط النهر بواسطة عوامل التعرية الرأسية والجانبية . وعندما يصل النهر إلى مرحلة النضج المتأخر ، يكاد يختفى أثر فعل النحت الرأسى وتضعف قوة تياره كثيرا ، وعلى ذلك تكون التعرية الجانبية هى أهم ما يشكل النهر فى هذه المرحلة ، وتتآكل جوانب النهر باستمرار نتيجة لتغير مجرى النهر من جانب إلى آخر تبعا لضعف الانحدار واستواء السطح شكل (٨٠) . كما تنخفض أراضى ما بين الأودية فى الارتفاع عما كانت عليه فى بداية نشأتها . ومن ثم يصبح مظهر سطح الأرض مستويا ، تقل فيه وعورة التضاريس . وبتوالى هذه العملية يكون النهر خلال أزمنة جيولوجية طويلة بمساعدة فعل التعرية الجانبية ، سهول تحاتية تتميز باتساع امتدادها واستواء أسطحها وبتوافق مظهر تضاريسها بالنسبة للتركيب الصخرى للمنطقة .

٢ - اتساع قاع النهر وأرضية واديه :

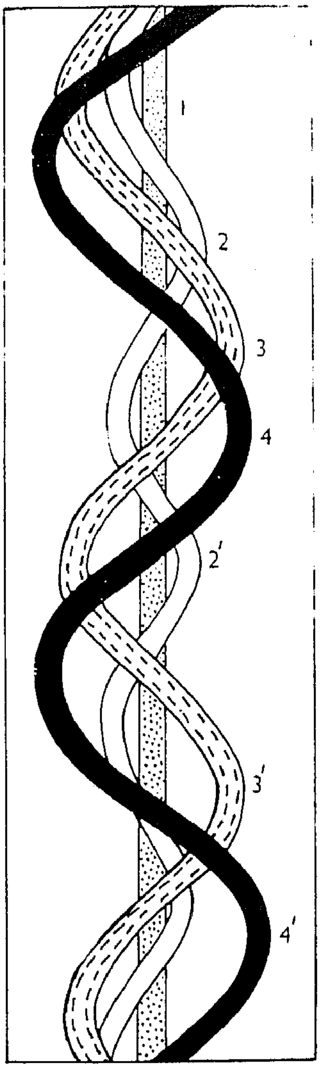
يتسع قاع النهر وأرضية واديه عندما يزداد مدى أثر النحت الجانبى على قوى النحت الرأسى . وتبعا لاستمرار تغير مجرى النهر من جانب إلى آخر تبعا لضعف الانحدار وبطء الجريان واستواء السطح (شكل ٨١) وتؤدى هذه العملية بدورها إلى تكوين المنعطفات فى مجرى النهر وهذه الأخيرة تتسع



(شكل ٨٠) تتابع النحت الرأسى والنحت الجانبى لأرضية الوادى النهرى

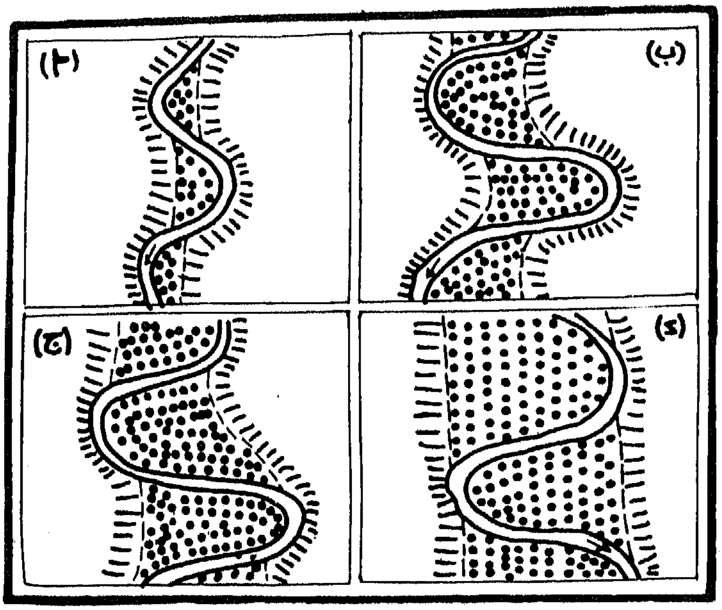
وتتشكل من وقت إلى آخر تبعا لدرجة الانحدار وسرعة المجرى وكمية المياه فى النهر ، وكذلك تبعا لاختلاف كمية الرواسب التى يحملها النهر وبتنوع أحجامها وأشكالها .

وينحت النهر فى الأجزاء المقعرة من جوانب مجراه ، بينما يرسب حمولته فى الأجزاء المحدبة ، ويغطى أرضية الوادى بالرواسب الطينية والغرينية والحصى مكونة ما يطلق عليه اسم السهل الفيضى *Flood Plain* .



(شكل ٨١) تغير مجرى النهر (1,2,3,4) مع كل فيضان قوى واتساع أرضية الوادى

ويوضح شكل (٨٢) ، مراحل اتساع أرضية وادى النهر ، ومنه يتضح أن النهر فى مرحلة «أ» قد بدأ يكون بعض المنعطفات فى مجراه نتيجة لضعف انحداره وبطء جريانه ، ويعمل النهر فى هذه المرحلة على تآكل الصخور من جوانب مجراه المقعرة وارساب حمولته فى الأجزاء المحدبة . وتمثل مرحلة «ب» ، مرحلة تالية للمرحلة السابقة حيث يظهر فيها ازدياد عمليات النحت الجانبى واتساع أرضية وادى النهر التى تغطى عادة بالرواسب النهرية ويطلق على هذه المرحلة اسم تشكيل أو تزيين المنعطفات النهرية *Trimming Stage* . ويتبع هذه المرحلة السابقة مرحلة أخرى «جـ» ويكاد ينعدم فيها قوى النحت الرأسى ، ويترتب على ذلك ضعف انحدار النهر وهدوء تياره وقلة انحداره ، واستواء سطحه ،وعدم ثبات مجرى النهر وانسياقه من جانب إلى آخر . وعلى هذا تتسع أرضية الوادى النهرى بالتدريج وتغطى



(شكل ٨٢) مراحل اتساع أرضية الوادى النهرى

بكميات هائلة من الرواسب الطينية والغرينية وتعتبر المرحلة الرئيسة فى تكوين السهل الفيضى . وفى هذه المرحلة تتعمق المنعطفات النهرية ويزداد امتدادها وتبدو كظاهرة جيومورفولوجية واضحة ومميزة فى مجرى النهر . ويطلق على هذه المرحلة من مراحل تطور المنعطفات النهرية تعبير مرحلة تكوين المنعطفات المشحذة أو الحادة الشكل *Sharpening Stage* . وفى مرحلة النضج المتأخر لتكوين هذه المنعطفات يزداد مساحة السهل الفيضى على شكل أرض سهلية واسعة الامتداد مغطاة بالرواسب النهرية والحصى . وقد يميز أبعاد السهل الفيضى بسهولة عندما تنحصر أرضية النهر بحافات شديدة الانحدار *Steep Bluffs* ، وتعرف هذه الحالة من مراحل تطور منعطفات مجرى النهر باسم مرحلة منعطفات النهر المثلمة أو الحادة جدا *Blunted Stage* .

وفى مرحلة النضج المتأخر كذلك يصبح مدى انتقال النهر من جانب إلى آخر بطيئا جدا . وليس من اللازم فى كل المناطق أن تلتصق أو تتقارب

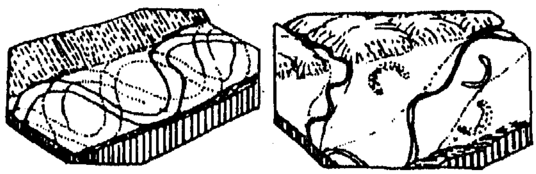
الأجزاء المحدبة من المنعطفات بجوانب النهر ، بل قد يتغير مجرى النهر فى هذه المرحلة ويحفر لنفسه مجرى آخر يخالف موقع وامتداد المجرى الأول ، وقد يتوسط هذا المجرى الجديد أرضية الوادى . ومن ثم تبدو الأخيرة أكثر اتساعا من الأراضى التى تشغلها المنعطفات النهرية (شكل ٨٣) .

٣ - المنعطفات النهرية وتكوين البحيرات المقتطعة :

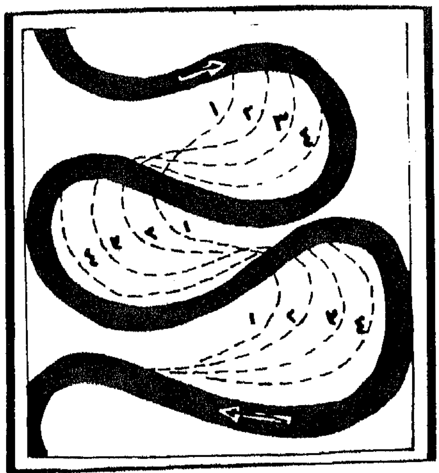
Meanders and Ox-bow Lakes

عندما يزداد اتساع السهل الفيضى *Flood Plain* نتيجة لتوالى عمليات النحت الجانبى تؤدى هذه العملية الأخيرة كذلك إلى تكوين سهل الوادى *Valley Plain* . ويزداد رواسب سهل الوادى سمكا عاما بعد عام نتيجة لتراكم المفتتات الصخرية ،ورواسب الطين والطمى والغرين مع كل فيضان ، وتترسب هذه المواد عادة على شكل فرشات وغطاءات واسعة الاتساع رقيقة السمك (بضعة سنتيمترات) . ولكن اذا ما قدرنا عمر السهل الفيضى منذ بداية نشأته حتى مرحلة تكوينه على شكل وادى هائل الاتساع (بضع مئات الآلاف من السنين) ، لتبين لنا سبب زيادة سمك المواد الارسابية التى يتألف منها سهل الوادى ، وغطاء الدلتاوات كما هو الحال مثلا فى دلتا النيل والرين والمسيسبى .

وكما سبق القول من قبل أن منعطفات النهر دائمة التغير نتيجة لضعف الانحدار وضعف تيار النهر . وعلى ذلك تتجه المنعطفات دائما إلى التحرك والانتقال نحو الأجزاء الدنيا من النهر (شكل ٨٤) . وفى مرحلة متأخرة قد



(شكل ٨٣) العلاقة بين اتساع أرضية الوادى النهرى والمنعطفات النهرية

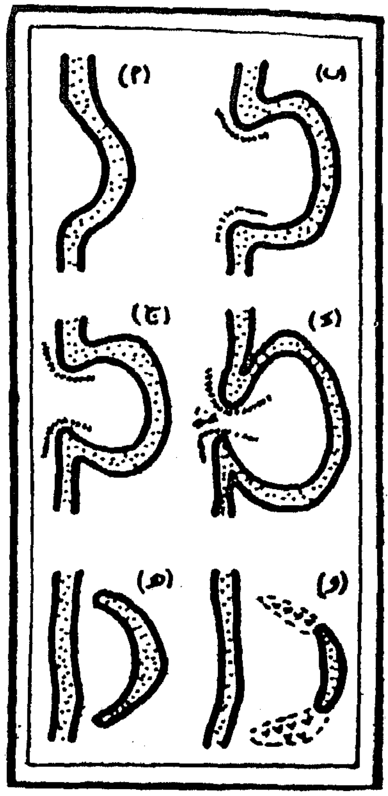


(شكل ٨٤) تقدم المنعطفات صوب الأجزاء الدنيا من النهر

تبلغ المنعطفات النهرية أكبر امتداد لها ، ويختلف هذا الامتداد من نهر إلى آخر تبعا لما يلي :

(أ) طول مجرى النهر .
(ب) عرض مجرى النهر .
(جـ) قوة تيار النهر وخصائص انحداره .
(د) نظام تطور مجرى النهر ومراحل النمو التي مر بها .

وتتميز المنعطفات النهرية بكونها محدودة الأبعاد في المجاري النهرية القصيرة ولكنها كبيرة نسبيا في المجاري النهرية الكبرى . وعلى أي حال تظهر المنعطفات النهرية في هذه المرحلة على شكل حرف (S) . وعندما يضعف أثر فعل النحت الرأسي يظهر قوى النحت الجانبي وتتضح اثاره في مراحل تكوين المنعطفات النهرية وتطورها (شكل ٨٥ أ) . فتمثل مرحلة (أ) مجرى نهري تظهر فيه بداية تكوين المنعطفات النهرية . أما مرحلة (ب) فهي تمثل منطهف نهري في مرحلة شابة وفيه يظهر المجرى على شكل حرف (S) كما يبدوكذلك أثر فعل النحت النهري في الأجزاء المقعرة من جانب النهر والارساب في الأجزاء المحدبة . ويمثل كل من مرحلتي (جـ ، د) أثر ازدياد توالي عمليات النحت والتآكل في الأجزاء المقعرة من جانب النهر



(شكل ٨٥ أ) مراحل تكوين المنعطفات النهرية والبحيرات المقتطعة

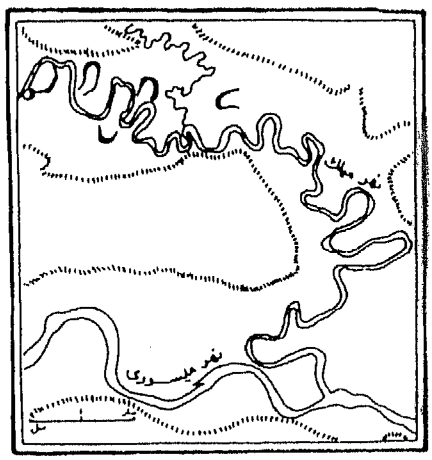


(شكل ٨٥ ب) تكوين البحيرات المقتطعة

ومن ثم تتقارب الحواف الحديثة للمحدبات أو بمعنى آخر تتقارب أجزاء مجرى النهر ولا يفصلها عن بعضها سوى عنق سهلي ضيق . وتلتحم أجزاء المجرى في النهاية تبعا لتوالي عمليات النحت في جانبي العنق ، وحيث إن النهر الرئيسي يظهر غالباً أشد عمقا من المياه عند المنعطفات ، بالاضافة إلى زيادة فعل الارساب عند أطرافها ، لذا تنفصل هذه المنعطفات وتقطع عن النهر الرئيسي *Cut-off Meanders* ، وتصبح على شكل بحيرات ضحلة هلالية الشكل تعرف باسم البحيرات المقطعة *Ox-bow Lakes*. (شكل٨٥ب)هذا وقد تجف المياه في البحيرات تدريجيا بواسطة عمليات التبخر والتسرب ، وتتحول البحيرة تدريجيا إلى مناطق ضحلة تشغلها الحشائش والنباتات المستنقعية . وبقايا أجزاء البحيرات المقتطعة إن دل على شئ فإنما

يدل على مراحل تطور مجرى النهر والظروف والتغيرات التى طرأت عليه حتى سبغت عليه خصائصه الجيومورفولوجية التى يبدو بها اليوم . ومن أظهر البحيرات المقتطعة تلك التى تتمثل فى أرضية نهر ميلك Milk أحد روافد نهر الميسورى فى أمريكا الشمالية (شكل ٨٦ ولوحة ٤٥) ، ويتضح من هذا الشكل كذلك العلاقة بين اتساع قاع النهر وتكوين المنعطفات النهرية فوقه .

وبعد أن تتكون البحيرات المقتطعة والمنعطفات النتهرية الكبيرة فوق سهل الوادى الناضج ، قد تتعرض هذه المنعطفات إلى فعل النحت الرأسى من جديد نتيجة لتغير مستوى سطح البحر أو تعرض المنطقة السهلية إلى حركات رفع تكتونية تغير مظهر سطح الأرض السهلى ، وتجدد نشاط عوامل التعرية . وعندما يزداد النحت الرأسى فى المجارى النهرية المنحنية يطلق عليها اسم المنعطفات المتعمقة *Incised Meanders* . ويميز هذه المنعطفات جوانب



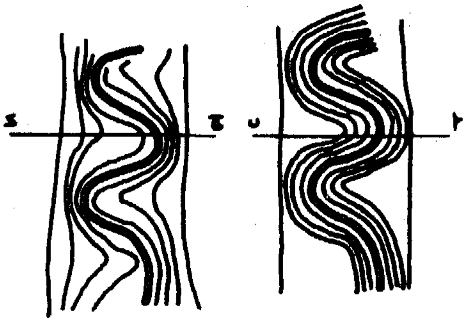
(شكل ٨٦) المنعطفات النهرية فى مجرى نهر «ميلك» أحد روافد الميسورى



(لوحة ٤٥) البحيرات المقتطعة فى أرضية نهر ميلك أحد روافد الميسورى.

شديدة الانحدار جدا وهائلة الارتفاع وتبدو على شكل حوائط عالية تحف جوانب النهر المنحنى نتيجة لشدة سرعة النحت الرأسى ، ومن بين أحسن أمثلة المنعطفات المتعمقة تلك الأجزاء المنحنية من نهر واى *Way* جنوب مدينة هيروفورد *Hereford* والذى يصب فى خليج سفرن *Severn* ، والأجزاء المنحنية من نهر *Dee* فيما بين بلدة *Bargor-On-Dee* شرقا وبلدة *Llangollen* غربا ويصب فى خليج ليفربول بانجلترا .

وعندما يزداد تعمق المنعطفات النهرية نتيجة لزيادة النحت الرأسى تتكون بالتالى جوانب حائطية شديدة الانحدار تحيط بالمجرى النهرى . ولكن تختلف درجة الانحدار على جوانب المجرى النهرى المنحنى كما يختلف كذلك على طول الأجزاء المحدبة والمقعرة من المنعطفات النهرية . وفى هذه الحالة الأخيرة تعرف المنعطفات النهرية باسم المنعطفات المتعمقة غير المتساوية الجوانب *Ingrown Meanders* وتتخذ معظم المنعطفات النهرية فى مجارى أنهار العالم هذا الشكل الأخير ، أما اذا كان الانحدار متشابها فى أشكاله ودرجته على طول جوانب المنعطفات النهرية (وهى حالة نادرة الحدوث) فتعرف المنعطفات النهرية باسم المنعطفات المتعمقة المتساوية الجوانب *Intrenched Meanders* (شكل ٨٧ ولوحة ٤٥أ) .



(شكل ٨٧) قطاعات عرضية للمنعطفات المتعمقة (المتساوية وغير المتساوية الجوانب)



(لوحة ٤٥) المنعطفات المتعمقة المتساوية الجوانب فى حوض نهر سان جوان جنوب شرق يوتاه والتى يطلق عليها اسم «عنق الوزة»

٤ - المدرجات النهرية *River Terraces* :

تدخل دراسة المدرجات النهرية فى مجال دراسات متنوعة منها الدراسات الجغرافية والجيولوجية والتاريخية وعلمى الاثار والطبقات . فقد عثر الباحثون فوق معظم أسطح المدرجات النهرية على آثار الانسان الأول ودلائل الحضارات البشرية القديمة ، حيث كانت تمثل هذه الأماكن أصلح البقاع لإستقرار الانسان الأول لموقعها الجغرافى بالقرب من مياه النهر وفوق منسوب السهل الفيضى . وقد كان ضرورياً على الانسان القديم الحصول على كميات كبيرة من المياه الجوفية المخزونة أسفل المدرجات النهرية ، وتختلف كمية هذه المياه تبعا لنوع الرواسب النهرية وخصائص التكوين الصخرى الذى يقع أسفل رواسب المدرج النهرى . وتزداد أهمية دراسة المدرجات النهرية عند مقارنة مراحل تطور المجرى النهرى وتكوين المدرجات النهرية المتعاقبة التى نشأت خلال مراحل مختلفة متتالية ، وبين مراحل اختلاف مستوى سطح البحر وتكوين السهول التحاتية البحرية .

وتتكون رواسب المدرجات النهرية من فرشة أو فرشات متراكبة فوق بعضها البعض من الرواسب النهرية التى تتألف عادة من الحصى والزلط بسطحه الأملس الناعم وشكله البيضاوى أو المستدير . كما يختلف حجمه من حبات صغيرة لا يزيد قطرها عن ١٠، سم إلى جلاميد صخرية قد يبلغ قطرها نحو ٠,٥ متر أو أكثر وتتجمع هذه الرواسب وتتراكم فوق الصخور التى يقطعها المجرى النهرى .

ويعتبر المدرج العلوى عادة أقدم عمرا من المدرج الذى يقع أسفله أو بمعنى آخر تزداد حداثة المدرجات فى الاتجاه إلى قاع الوادى النهرى . وكلما كانت المدرجات النهرية حديثة العمر (قريبة من منسوب مجرى النهر) كانت فرصة العثور على الارسابات النهرية فوق هذه المدرجات متيسرة عنها فوق المدرجات العلوية القديمة ، ذلك لأن الأخيرة تكون قد تعرضت رواسبها لعوامل التعرية مدة طويلة من الزمن وتلاشت الرواسب النهرية التى كانت تغطى أسطحها .

وقد تتشابه مراحل تكوين المدرجات النهرية على جانبى الوادى بحيث يتشكل كل جانب بنفس المدرجات النهرية التى يتميز بها الجانب الآخر ويطلق على المدرجات النهرية فى هذه الحالة اسم المدرجات المزدوجة *Paired Terraces* وفى حالة عدم تشابه مراحل تكوين المدرجات النهرية على جانبى الوادى يطلق عليها إسم المدرجات اللامزدوجة أو اللامتماثلة *Unmatched or Unpaired Terraces* . وقد يكون هناك علاقة واضحة بين تكوين المدرجات النهرية وتعاقب حدوثها على جانبى نهر ما وبين نقط التجديد التى يمكن ملاحظتها فى المجرى الطولى لهذا النهر . فنتيجة لتوالى عمليات النحت الرأسى تتكون نقط التجديد فى النهر وكذلك تتشكل المدرجات النهرية على جانبى واديه . ومن الجدير بالذكر أن هذه العلاقة ليست متشابهة فى كل المجارى النهرية بل تختلف من مجرى إلى آخر ، وقد لا تتمثل هذه العلاقة بين نقط التجديد وتكوين مراحل المدرجات فى بعض

الأودية النهرية . ومن ثم كان من الضرورى على الباحث دراسة نقط التجديد فى الحقل دراسة وافية وعمل قطاعات مساحية للمجرى النهرى قبل أن يقوم باستنتاج المعلومات المختلفة ، ونسج خيوط مراحل تطور النهر .

وتنبغى التفرقة بين المدرج النهرى *River Terrace* وبين سطوح التعرية *Erosion Surface* الناتجة عن التعرية النهرية . وحقيقة لا يوجد خلاف جوهرى بين الاثنين من ناحية طريقة نشأتهما والعوامل التى أدت إلى تشكيلهما ولكن يطلق تعبير المدرجات النهرية على تلك المدرجات أو المصاطب التى لاتزال تحتوى على بقايا من رواسب النهر وحمولته والتى قد تساعد على معرفة عمر هذه المدرجات والزمن الذى نشأت خلاله . أما سطوح التعرية ، فهى مدرجات نهرية أكبر اتساعا وأعلى منسوبا من المدرجات النهرية التى تنشأ على جانبى الوادى . وتبعا لتقدم عمرها بالنسبة للمدرجات النهرية الحديثة ، أزيلت معظم الرواسب الفيضية التى كانت تغطيها ، كما أنها تحتل عادة أراضى ما بين الأودية ومناطق خطوط تقسيم المياه .

وتكوين مراحل مختلفة متعاقبة من أسطح التعرية والمدرجات النهرية على جانبى النهر إن دل على شئ فإنما يدل على أن النهر قد تعرض إلى أكثر من مرحلة أو دورة تحاتية ، وتبعا لتوالى عمليات النحت الرأسى خلال هذه الدورات التحاتية المتعاقبة ، يتعمق الوادى النهرى ، ويتكون فيه وادى عميق داخل الوادى المتسع القديم . ويطلق على هذه الحالة الأخيرة تعبير «وادى داخل وادى» *Valley - in - valley form* وهى من أحسن الأدلة التى تشير على توالى عمليات النحت الرأسى . وأخيرا يجب على الباحث كذلك أن يميز فى الحقل بين كل أنواع المدرجات المختلفة فى الحقل ، وذلك مثل المدرجات الصخرية والمدرجات البحرية والمدرجات النهرية ، وتحديد الخصائص الجيومورفولوجية لكل منها ، لأهميتها البالغة فى تفسير مراحل تطور مجرى النهر والدورات التحاتيــة التى تعرضت لها المنطقة .

ويمكن تقسيم المدرجات النهرية تبعا لاختلاف مظهرها الجيومورفولوجى العام والعوامل المختلفة التى أدت إلى تكوينها وتشكيلها إلى عدة مجموعات مختلفة أهمها :

(أ) المدرجات المصطبية أو السلمية الشكل *Step-like Terraces* :

تتكون المدرجات النهرية فى معظم الحالات على شكل سلمى كما يحدث ذلك عادة على جانبى المنعطفات النهرية غير المتساوية الجوانب *Ingrown Meanders* ويرجع تكوين مثل هذه المدرجات السلمية المتعاقبة إلى حدوث حركات رفع خلال فترات متقطعة *discontinous uplift* تؤدى إلى زيادة النحت الرأسى وتوالى عمليات تشكيل جانب النهر وفتح المجال فى النهاية لتكوين المدرجات السلمية . وكما سبقت الاشارة من قبل بأنه قد لا يتشابه تعاقب حدوث المدرجات على كل من جانبى النهر ،بل قد يتميز جانب ما بشدة الانحدار وظهوره على شكل حائط عال يحف بالمجرى النهرى مباشرة بينما يتميز الجانب الآخر بعدم وجود مدرجات متعاقبة متتالية ، كما هو الحال مثلا على جانبى نهر أوايتر *Awatere* فى نيوزيلند .

وقد تلتحم فى بعض الأحيان مقدمة مدرجين من المدرجات السلمية فى مقدمة واحدة ، ويكونان معاً مدرج نهرى واحد وذلك فى حالة إذا ما تكون مدرج نهرى فى نفس الوقت الذى ينشأ النهر فيه مدرجا نهريا آخر .

(ب) المدرجات المتعاقبة التكوين *Alternating Terraces* :

قد تظهر المدرجات اللامزدوجة على ارتفاعات متتالية متعاقبة ، إلا أنها تختلف فيما بينها على جانبى الوادى من حيث النشأة والعمر ، بينما تتميز المدرجات المزدوجة بحدوثها على ارتفاعات متعاقبة فوق بعضها البعض وتتشابه على جانبى الوادى النهرى . وقد تتم عملية النحت الرأسى ببطء شديد فى بعض الأنهار نتيجة لحدوث حركات رفع تدريجية بطيئة أو يعترض المجرى النهرى حواجز صخرية صلبة وفى هذه الحالة الأخيرة تختلف سرعة

النحت الرأسى من جزء إلى آخر تبعا لنوع الصخر الذى يقطعه النهر . ومن أمثلة ذلك المجارى النهرية العرضية *Transverse Rivers* التى تتكون فوق صخور لينة متعاقبة فوق صخور صلبة . أو الأنهار المنطبعة *Super iposed Streams* التى تكونت فوق غطاء من الصخور اللينة تآكلت بدورها وأزيلت ، ولكن نجحت الأنهار فى أن تحفر مجاريها فى الصخور السفلى الصلبة فى نفس الوقت الذى احتفظت فيه بمظرها وخصائص تصريفها المتكونة أصلا فوق غطاء الصخور اللينة .

كما تمثل الجوانب النهرية للمنعطفات النهرية الكبيرة أنسب المناطق لتكوين المدرجات اللامزدوجة وذلك تبعا للمجرى النهرى المنحنى واختلاف درجة النحت الرأسى والجانبى على طول جانبيه بالاضافة إلى توالى عمليات تغيير المجرى النهرى من جانب إلى آخر مما يؤدى إلى عدم اتمام عملية تكوين مدرجات نهرية سبق للنهر أن قطعها مبدئيا ذلك فى نفس الوقت الذى تقطع فيه مدرجات نهرية أخرى على الجانب الآخر من الوادى .

(ج) المدرجات الناتجة عن حدوث الذبذبات المناخية *Climatic Terraces* :

ومن الجدير بالذكر أن المدرجات النهرية لا تعتبر كلها من نتاج النحت الرأسى والجانبى فى ضوء إختلاف مستوى القاعدة العام أو حدوث حركات رفع تدريجية فى المنطقة التى يقطعها النهر ، بل قد تتكون كذلك نتيجة لحدوث ذبذبات مناخية تؤثر بدورها على كمية المياه فى المجرى النهرى وكذلك على حجم حمولته من الرواسب وسرعة جريانه ودرجة انحداره ومدى قدرته على النحت والارساب وكلها عوامل مباشرة أو غير مباشرة تؤثر فى تكوين وتشكيل المدرجات النهرية . فيختلف مثلا حجم ما يحمله النهر من رواسب بالنسبة لكمية المياه فى مجراه تبعا لزيادة سقوط الأمطار أو اختلاف درجة التساقط فوق منابع النهر العليا . فإذا تغير المناخ وأصبح أكثر جفافا بالنسبة لحوض نهر ما فإن كمية المياه فى المجرى النهرى ستتدنى نسبتها بينما قد تزداد كمية ما يحمله النهر من الرواسب . ونتيجة للجفاف الطارئ

تقل كثافة النباتات وبذا تصبح التربة عرضة للتفكك بواسطة عوامل التعرية ، وقد تنقل فتات التربة بالتالى إلى مجرى النهر الرئيسى بواسطة روافده الجبلية النشيطة . أما إذا أصبح المناخ رطبا ، بحيث تزداد كمية المياه فيه ، وتزداد نسبيا كمية ما يحمله النهر من رواسب ، ففى كل من الحالتين قد تتكون بعض المدرجات النهرية نتيجة لتراكم الرواسب مكونة مدرجات طارئة تبعا لذبذبات واختلاف مستوى مياه المجرى النهرى .

ويطلق الباحثون تعبير المدرجات الناتجة عن الذبذبات المناخية على كل المدرجات النهرية التى تشغل بطون الأودية الجافة فى الصحراء الشرقية وشبه جزيرة سيناء فى جمهورية مصر العربية . فقد تكونت على جانبى نهر النيل أودية نهرية معلقة *Hanging Valleys* لا تتأثر بذبذبات مستوى سطح البحر العام التى تشكل مجرى نهر النيل نفسه . وتبعا لتأثر هذه الأودية بسقوط الأمطار الغزيرة خلال الفترات المطيرة المتعاقبة ابان عصر البلايوستوسين أدى ذلك إلى ازدياد كمية المياه فى الأودية وبالتالى سرعة انجاز عمليات النحت الرأسى ، بينما تتعرض هذه الأودية للتآكل بفعل التعرية الجانبية خلال الفترات الجافة . وبتوالى هذه العملية تتكون المدرجات النهرية على جوانب الأودية الجافة وفى أرضيتها كذلك . وتتمثل بعض هذه المجموعة من المدرجات فى أودية العلاقى وشعيت وخريط وقنا وحوف والعريش .

وقد درس الكاتب نشأة هذه المدرجات على جانبى وادى الصفا ، ووادى أبو طريفيا ووادى المراحيل فى إقليم المغارة بشمال شبه جزيرة سيناء (راجع شكل ٣٢ وشكل ٣٣) ، وقد دلت نتائج البحث الحقلى على أنه يمكن تمييز مجموعتين من المدرجات هى :

(أ) المجموعة العليا : وتتركب من رواسب تتألف من الحصى والحصباء متوسط سمكها نحو ٥ م ، وتشغل بعض أجزاء جانبى النهر الواقعة فيما بين ٤٠٠ إلى ٥٥٠ مترا فوق مستوى سطح البحر .

(ب) المجموعة السفلى : وتتركب من رواسب تتألف من الحصى والحصباء

ويدخل فيها كميات كبيرة من الرمال والأترية ، ومتوسط سمكها نحو ١٤ مترا وتشغل بعض أجزاء جانبى النهر وقاعه ويتراوح منسوبها فيما بين ٢٠٠ إلى ٣٦٠ مترا فوق مستوى سطح البحر .

وقد تبين أن هذه المدرجات نشأت تحت تأثير فعل الأمطار الغزيرة فى الفترات البلايوستوسينية المطيرة التى شكلت المظهر الجيومورفولوجى العام للمنطقة . ولا يرجع ارتفاع سمك رواسب المدرجات النهرية فى هذه الأودية إلى تجمعها على شكل فرشات صفائحية كما هو الحال فى دلتا النيل مثلا (بحيث تمثل كل صفيحة منها أثر الفيضان السنوى) بل يرجع إلى ضعف تيار المجرى النهرى فجأة تبعا لقلة المياه ، ومن ثم تتجمع الرواسب النهرية فجأة على شكل ركامات هائلة السمك .

٥ - الدلتاوات *Deltas*:

تتجه معظم مصبات أنهار العالم صوب البحار والمحيطات حيث تلقى حمولتها وما بها من رواسب . وتتجمع كذلك بعض هذه الرواسب فى الجزء الأدنى من النهر خاصة عند فوهته وتتراكم بدورها فوق قاع البحر أو المحيط الضحل الذى يتجه إليه النهر ، فإذا كانت قوة التيارات البحرية والأمواج وأثر فعل المد والجزر شديدا ، تزيل هذه العوامل الرواسب النهرية باستمرار ولا تمنح لها الفرصة لكى تتشكل أو تتراكم أمام فوهة النهر . وإذا تعرض الجزء الأدنى من النهر إلى عمليات الهبوط الأرضى *Subsidence* فمن الصعب أن تتجمع أو تتراكم الرواسب حيث أن معظمها سيكون عرضة لتأثير عمليات الهبوط ، ويطغى البحر على فوهة النهر والمناطق الساحلية المجاورة .

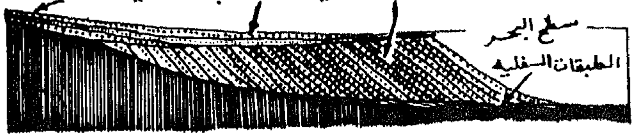
أما إذا كان فعل التيارات البحرية والأمواج وتأثير المد والجزر ضعيفا كما هو الحال فى البحيرات والبحار الضحلة المغلقة ، مثل بحر آرال وبحر قزوين والبحر الأسود ، فيصبح فى قدرة الرواسب النهرية أن تتجمع فوق أرضية البحر الضحل وتتراكم أمام فوهة النهر وعلى جانبى الجزء الأدنى من الوادى النهرى . ويتوالى عمليات تراكم الرواسب على شكل طبقات تغطى الأسطح

القريبة من مصب النهر عاما بعد عام قد تتكون سهول واسعة الامتداد ، مستوية السطح وتظهر غالبا على شكل مروحي ، ويطلق على هذه السهول الارسابية عند فوهة النهر اسم الدلتا *Delta* . ويتبين من هذا العرض أن السهول الدلتاوية تتكون على حساب البحر الضحل المجاور وذلك بتراكم المفتتات الصخرية وارسابها في هذا البحر الضحل مكونة طبقات متعاقبة فوق بعضها البعض وقد ترتفع أسطحها فوق منسوب سطح البحر ومن تصبح أرضا وجزءاً من الدلتا . ويوضح (شكل ٨٨) كيفية تكوين الدلتا على حساب ردم البحر الضحل المجاور وتقسيم طبقاتها الارسابية المختلفة .

وعندما تزداد الرواسب النهرية في البحر الضحل الذي يصب فيه النهر ، قد يكون من الصعب أحيانا أن يرسب النهر حمولته عن طريق مجراه فقط وتبعا لارتفاع منسوب المياه في الجزء الأدنى من النهر قد يعمل الأخير على حفر مجاري على شكل مخارج تساعده على قذف مياهه وما يحمله من رواسب إلى أجزاء أشد عمقا نسبيا في البحر المجاور . وعلى ذلك فيقطع أرض الدلتا عديد من المجاري يطلق عليها اسم الفروع أو المخارج النهرية *Distributaries* . ويمكن دراسة تركيب الطبقات الارسابية المختلفة (العلوية *Top-set* والأمامية *Fore-set* ، والسفلية *Bottom-set*) وذلك عندما ينخفض مستوى سطح البحر أو البحيرة التي يصب فيها النهر وتظهر هذه الطبقات واضحة على سطح الأرض . وتبعا لاختلاف المظهر الجيومورفولوجي للدلتاوات وتنوع أشكالها يمكن تقسيمها إلى مجموعتين كبيرتين هما :

الدلتاوات المروحية المثلث الشكل :

تتخذ معظم دلتاوات أنهار العالم شكل المثلث ، بحيث تمثل قاعدة المثلث



(شكل ٨٨) تكوين الدلتا وطبقاتها الارسابية المختلفة

ساحل البحر أو البحيرة الذى تصب فيه المجارى الدنيا للنهر ، بينما يمثل رأس المثلث منطقة تفرع هذه المجارى النهرية من المجرى الرئيسى . وقد تزداد المخارج النهرية المتكونة فوق الدلتا بحيث تبدو الأخيرة على شكل يشبه المروحة . ومن أمثلة هذه الدلتاوات ، دلتا النيل ، التى اتخذت اسمها تبعا لظهورها على شكل مثلث يشبه حرف «د» فى اللغة اليونانية Δ . وقد اتخذت قاعدة المثلث أو بمعنى آخر الشريط الساحلى لدلتا النيل شكل القوس المنحنى وذلك يعزى إلى تآكل جوانب قاعدة الدلتا بفعل الأمواج والتيارات البحرية من جهة بالاضافة إلى تأثير الحواجز الرملية والبحيرات الساحلية وخصائص ارساب فيضان النيل من جهة أخرى (لوحة ٤٦) .

وحيث أن مجرى نهر النيل يشق طريقا طويلا خاليا من الروافد النشيطة التى يمكن أن تغذيه بالمياه ويقطع أراضى صحراوية جافة واسعة الامتداد



(لوحة ٤٦) مرئية فضائية بواسطة القمر الصناعى جيمنى (٤) تظهر أراضى دلتا نهر النيل المثلثة الشكل (وكالة ناسا للفضاء)

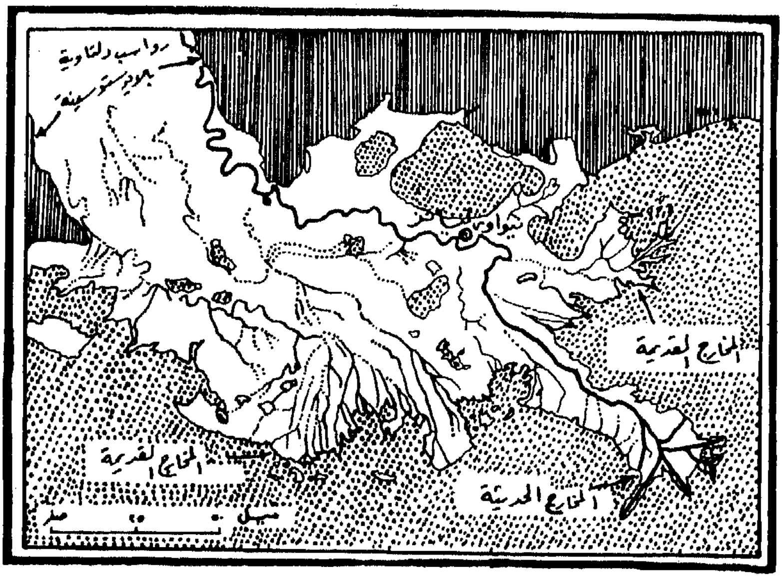
فإنه عند وصوله إلى قمة أو رأس الدلتا (قبل بناء السد العالى) كان يلقى معظم ما به من رواسب وعلى ذلك تصبح درجة الامتداد أو تقدم الدلتا فى البحر ضئيلة جدا بالنسبة لتقدم بعض دلتاوات الأنهار الأخرى . فتمتد مثلا دلتا نهر البو *Bo* فى السهل الايطالى الشمالى امتداداً سريعاً فى بحر الأدرياتيك ومن ثم بعدت مدينة أدريا *Adria* بنحو ١٤ ميلا عن الساحل وقد كانت هذه المدينة ميناء بحريا هاما منذ ١٨٠٠ سنة مضت ، و قدر الباحثون أن دلتا البو تتقدم فى البحر بمعدل ٤٠ قدما فى السنة . وتكررت نفس العملية بالنسبة لمدينة أوستيا *Ostia* على نهر التيبر *Tiber* (ميناء روما القديم) التى أصبحت هى الأخرى على بعد أربعة أميال من الساحل الحالى .

ب - الدلتاوات الأصبعية لشكل :

قد تتجزأ بعض الدلتاوات بواسطة مخارج نهرية عميقة نسبيا يطلق عليها اسم المعابر *Passes* . وتتخذ هذه المعابر النهرية شكل أصابع اليد أو قدم الطائر وينحصر بين أصابعها (مخارجها) أشرطة سهلية ضيقة مركبة من مواد صلصالية ناعمة شديدة التماسك . ومن أجمل أمثلة هذه المجموعة ، دلتا نهر المسيسبى التى تمتد فى البحر على شكل أرجل الطائر *Bird's Foot* . وتحمل المجارى النهرية للمسيسبى فى الجزء الأدنى كميات كبيرة من الرواسب الدقيقة الحجم ساعدت على تكوين جسور نهرية طينية غير مسامية تفصل بين جوانب المخارج النهرية العميقة . وقد قدر الباحثون أن متوسط تقدم مخارج المسيسبى فى خليج المكسيك يبلغ نحو ٢٤٠ قدما فى السنة (شكل ٨٩)

وقد أكدت الدراسات الجيومورفولوجية تكوين دلتا المسيسبى على أربع مراحل متتالية خلال عصر البلايوستوسين فدلتا المسيسبى الأولى القديمة كانت تقع غرب الدلتا الحالية بنحو ١٠٠ ميلا فى منطقة لافايت *Lafayette* وتعرف باسم دلتا تيش *Teche* وكان مجرى نهر المسيسبى يجرى غرب مجراه الحالى فيما بين فيكسبرج حتى مصبه .

وفى المرحلة الثانية ترنح مجرى النهر إلى الشرق من مجراه القديم وعمل



(شكل ٨٩) دلتا المسيسبى الأصبعية الشكل
(لاحظ تذبذب موقع الدلتا ، ووجود المخارج القديمة فى الدلتاوات)

على تكوين دلتا جديدة تعرف باسم دلتا لافورش *La Fourche* . وفى المرحلة الثالثة غير النهر مجراه جنوب بلدة باتون روج *Baton Rouge* واتجه شرق وكون دلتا كبيرة الحجم تعرف باسم دلتا دونا لدستون *Donald stone* . وتقع إلى الشرق من الدلتا الحالية بأكثر من ٥٠ كم . أما أحدث مراحل تكوين دلتا المسيسبى فهى المرحلة الرابعة التى حدثت فى نهاية الزمن الرابع وخلال فترة الهولوسين وتكونت فيها الدلتا الحديثة . وقد نتج عن تكوين هذه الدلتاوات المتجاورة ظهور دلتا المسيسبى على شكل قدم الطائر .

وتتعرض دلتا المسيسبى حاليا لعمليات الهبوط الأرضى التدريجي البسيط . وقد تبين أن الفعل الناتج عن الارساب النهرى عمل على تعويض التأثير الناتج عن فعل الهبوط حيث يقوم كل منهما بدوره فى نفس الوقت . ومن بين أمثلة الدلتاوات الكبرى التى تتعرض لحركات الهبوط الأرضى التدريجى كذلك دلتاوات النيل ، والكانج وبراهمابترا وايراوادى .

ويسهل تكوين الدلتاوات ويزداد تقدمها بسرعة إذا تكونت الدلتاوات فى بحار مغلقة تتميز بضعف قوة التيارات والأمواج وتأثير المد والجزر ، وكذلك اذا تكونت فى بحيرات ضحلة ، وخاصة إذا كانت مياهها أكثر ملوحة من مياه الأنهار التى تصب فيها . ومن أمثلة ذلك دلتا نهر تيرك *Terek* التى تتقدم فى بحر قزوين بمعدل ١٠٠٠ قدم سنويا .

يتضح مما سبق أن هناك بعض العوامل والظاهرات الجيومورفولوجية الخاصة التى تشكل كلا من مجرى النهر وواديه فى أجزائه المختلفة خلال مراحل نموه المتعددة . ولكن ليس معنى هذا أن هذه العوامل وتلك الظاهرات التى سبق ذكرها يتوقف مجالها وتكوينها على جزء محدد معين من مجرى النهر وواديه ، بل يمكن القول بأنه قد يشتد أثرها فى جزء من مجرى النهر وواديه عن جزء آخر . فلا تعتبر عمليات الأسر النهرى مثلا قاصرة على مجارى الأنهار ابان تطور نموها فى مرحلة الشباب . إلا أنها فعلا أكثر حدوثا خلال هذه المرحلة عن احتمال حدوثها فى المراحل الأخرى من تطور حياة النهر . وكذلك يلاحظ أن أهم العوامل التى تقوم بتشكيل خصائص المجرى النهرى وواديه فى الجزء الأعلى هى تلك التى تختص أساسا بعمليات الهدم بينما تلك التى تقوم بتشكيل المظهر الجيومورفولوجى العام فى الجزء الأدنى من النهر هى تلك التى تختص عامة بعمليات الإرساب أو البناء .

وقد واجهت نظرية الدورة التحاتية كما سبقت الإشارة من قبل نقداً شديداً من قبل أصحاب المدرسة الجيومورفولوجية الكمية المعاصرة التى قد لا تعترف بحدوث مثل هذه الدورة أصلا ، وتنادى بدراسة العوامل التى تشكل الظاهرات وتقييم فعلها تقييماً كمياً ، ومن ثم اعتمدت دراستهم لظاهرات سطح الأرض عامة وللتصريف المائى خاصة بإتباع الأساليب الكمية بغية الحصول على نتائج علمية سليمة ولتجنب الوصف الكيفى الذاتى الذى تميزت به اتجاهات الجيومورفولوجيا الدافيزية .

الفصل الخامس عشر

المياه الجارية - دراسة هيدرومورفومترية

يقصد بالمياه الجارية ، المياه السطحية التى تجرى فوق سطح الأرض أى الأنهار . وقد سعت الدراسة المورفومترية فى تحديد الخصائص الجيومورفولوجية للمجارى النهرية كمياً ، وإيضاح العلاقات بين بعض المجارى وبعضها الاخر تبعا لاختلاف أشكالها وأطوالها وبين المجارى النهرية والأحواض النهرية التابعة لها . ومن ثم سنشير فى هذا الفصل إلى الأسس العامة للدراسة المورفومترية عند معالجتها فعل المياه الجارية وأشكالها.

أنواع المجارى النهرية :

لا تختلف المجارى النهرية من مجرى إلى آخر تبعا لتنوع مظهرها الجيومورفولوجى ، وسرعة جريانها ، واختلاف درجة انحدارها فقط بل تختلف كذلك من حيث مراحل تطورها وعمرها ونشأتها وعلاقتها بالنسبة للتكوين الصخرى ، ونظام بنية طبقات الصخور التى كشفتها هذه الأنهار . وأول من حاول تقسيم المجارى النهرية تقسيما علمياً هو وليم موريس دافيز ، فى عام ١٨٩٢ . وقد اعتمد دافيز فى تقسيمه على تنوع العلاقة بين المجارى النهرية والتكوين الصخرى ونظام بنائه ، وقد ميز الأنواع الآتية :

(أ) أنهار تتبع ميل الطبقات :

يتبع امتداد مجارى هذه المجموعة من الأنهار حسب تفسير دافيز الاتجاه العام لميل الطبقات الصخرية *Dip* ، وأطلق عليها اسم الأنهار الأصلية *Primary or Consequent Streams* . وقد جرى العرف بين الجيومورفولوجيين فى الوقت الحاضر أن يطلق على مثل هذه الأنهار تعبير أنهار ميل الطبقات *Dip-type Streams* لتجنب تداخل هذه المصطلحات المختلفة .

وقد بين دافيز كذلك أن أنهار ميل الطبقات غالبا ما تمثل الأنهار الأصلية أو الأنهار الأولى التى تتكون على السطح الأصلى القديم ، وتتبع فى اتجاهها الانحدار الأصلى العام نحو البحر . ونتيجة لتراجع البحر تبعا لانخفاض منسوبه تزداد عمليات نحتها الرأسى وتراجعها الخلفى ، ومن ثم يزداد امتداد الأنهار الأصلية وأطلق عليها دافيز فى هذه الحالة اسم *Extended Consquent Streams* .

(ب) أنهار تتبع اتجاه مضرب الطبقات :

أطلق دافيز على هذه المجموعة من الأنهار تعبير الأنهار التالية أو الثانوية *Secondary or Subsequent Streams* ، وهى الأنهار التى تمتد بوجه عام على طول مضرب الطبقات . وعندما تلتحم هذه الأنهار الأخيرة بأنهار ميل الطبقات فإنها تبدو على شكل زاوية قائمة . وقد استخدم معظم الكتاب تعبير «الأنهار التالية» *Subsequent St.* للدلالة على الأنهار التى تتكون على طول مناطق الضعف الجيولوجى مهما كان اتجاهها بالنسبة لميل الطبقات ، مثل تلك التى تنشأ فوق صخور لينة أو تشق مجراها على طول فتحات الشقوق الصخرية ، وعلى ذلك فمن الأفضل أن يطلق على الأنهار التى تتبع اتجاه مضرب الطبقات تعبير أنهار مضرب الطبقات *Strike-type Streams*

(ج) أنهار عكس ميل الطبقات :

وقد أطلق دافيز على هذه المجموعة من الأنهار تعبير الأنهار العكسية *Obsequent Streams* وهى تتألف عادة من مجارى نهرية قصيرة تتكون على شكل أودية جبلية *Gulies* تنحدر بشدة على سفوح الحافات الجبلية وتمتد فى عكس اتجاه ميل الطبقات ، ومن ثم يمكن أن نطلق عليها تعبير *Anti-dip type Streams* .

وتشكل هذه الأنواع المختلفة من المجارى النهرية معظم مناطق الحافات الجبلية "*Scarpland Topography*" أو مناطق الكوستات فى العالم . وتبعا لإختلاف امتداد هذه المجارى النهرية فهى تكون شكلا معينا من التصريف

النهرى يطلق عليه اسم التصريف النهرى المتشابك *Trellised Drainage* ، وفيه يتقسم سطح الأرض بمجارى نهرية طولية وعرضية متشابكة وتلتحم مع بعضها البعض على شكل زوايا قائمة .

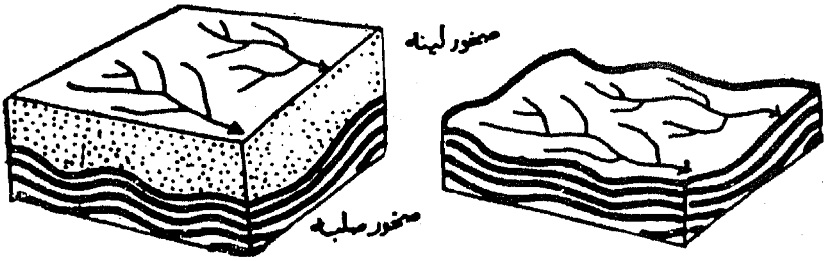
الى جانب تصنيف الأنهار حسب علاقتها بنوع الصخور التى تشقها ، يمكن كذلك تمييز عدة أنواع مختلفة من المجارى النهرية كل منها له نشأة خاصة وأهم هذه المجموعات :

أ – مجموعة الأنهار المنطبعة *Superimposed Streams*

ب – مجموعة الأنهار المناضلة أو السالفة *Antecedent Streams*

١ - الأنهار المنطبعة :

تتكون هذه المجموعة من الأنهار أصلا فوق طبقات من الصخور الارسابية التى قد تكون لينة نسبيا بمقارنتها بالصخور القديمة التى تقع متعاقبة أسفلها . وتتشكل هذه المجارى خلال مراحل تكوينها تبعا لخصائص ومزايا الطبقات الصخرية العليا اللينة التى تكونت فوقها الأنهار الأصلية . وتبعا لاستمرار عمليات النحت الرأسى فقد يقطع النهر الصخور الصلبة القديمة دون أن يغير اتجاه مجراه أو بمعنى آخر يعمق نفسه فى نفس المجرى الأصلى الذى تكون أصلا فوق الصخور العليا اللينة ، وعلى ذلك يحتفظ شكل التصريف النهرى بمظهره دون أن يطرأ عليه أى تغيرات جوهرية . وبمرور الزمن قد تتآكل الصخور العلوية اللينة تماما ، بعد أن تنطبع مجارى الأنهار فى الصخور السفلية الصلبة . ومن دراسة شكل هذا التصريف النهرى يلاحظ الباحث أنه يخالف تماما المظهر العام للمجارى النهرية التى تنشأ عادة فوق الصخور السفلية الصلبة التى انطبع عليها هذا التصريف . ومن ثم يتضح أن هذا النمط من التصريف النهرى قد تكون فى بداية نشأته فوق طبقات صخرية علوية لينة ، تعرضت الأخيرة لفعل عوامل التعرية التى أزالت الصخور تدريجيا بعد أن تركت بعض من اثارها ممثلة فى انطباع المجارى النهرية فى الصخور السفلية (شكل ٩٠) .



(شكل ٩٠) تكوين الأنهار المنطبعة

وتنتمى معظم أشكال التصريف النهرى التى تتكون فوق مناطق الصخور القديمة العمر فى الجزر البريطانية إلى هذا النوع . فقد رجح الباحث رامسى *Ramsay* (١) أن مجارى الأنهار فى شرق انجلترا التى تصب شرقا فى بحر الشمال وتكاد تجرى فى أودية متوازية يرجع نشأتها إلى تكوينها فوق غطاء من الصخور الطباشيرية الكريتاسية . وقد وافق على هذا الرأى كل من وليم دافيز عام ١٨٩٥ (٢) ، وكوبر ريد عام ١٩٠١ ، ولينتن عام ١٩٥١ (٣) . ومن أحسن الأمثلة للمجارى المنطبعة فى الجزر البريطانية معظم أنهار ويلز ، ومنطقة البحيرات *Lake District* ومعظم الأنهار الشرقية فى انجلترا التى تصب شرقا فى بحر الشمال .

ب - الأنهار المنا ضلة :

يقصد بهذه المجموعة من الأنهار تلك التى مازال فى استطاعتها القيام بعمليات النحت الرأسى وشق الصخور وتعميقها على الرغم من حدوث حركات رفع تكتونية تدريجية بطيئة فى نفس الوقت دون أن يطرأ أى تغيير على اتجاه مجراها .

---

(1) Ramsay, A. C., "The river courses of England and Wales." Quater Jour. Geological Society, Vol. 28 (1872), 148 - 160.

(2) Davis, W M. "The development of certain English Rivers" Geographical Journal, vol. 5 p. 127 - 146.

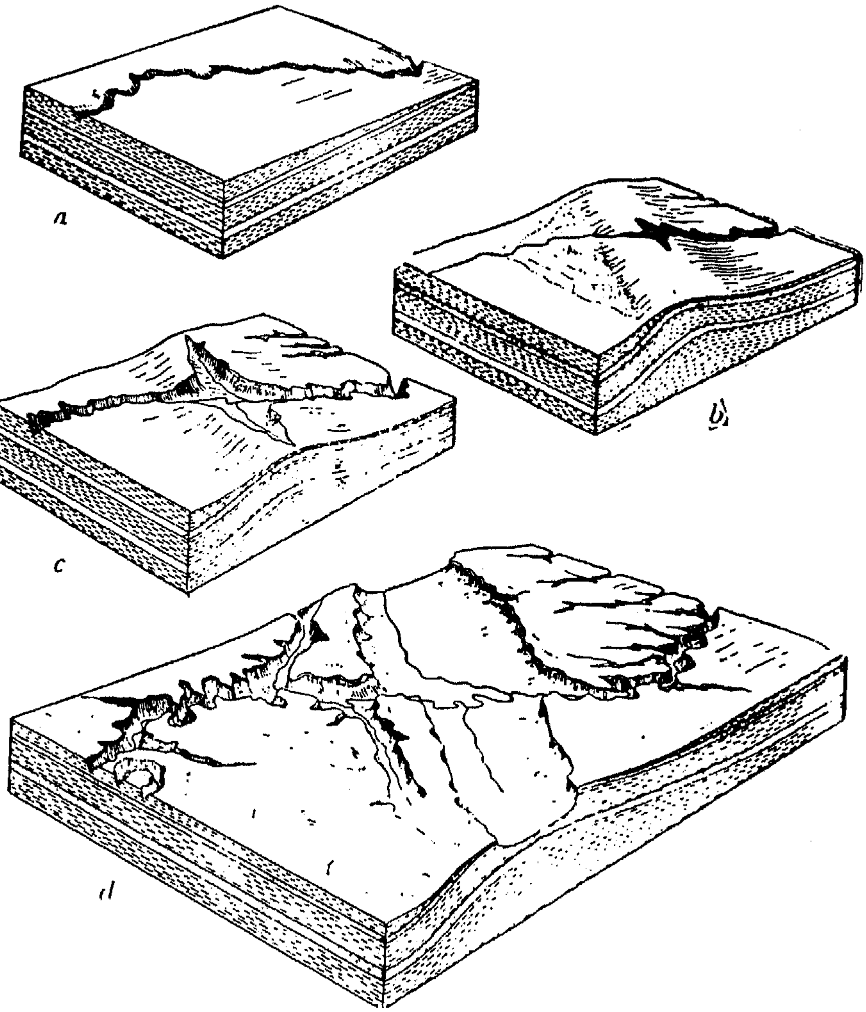
(3) Linton., D L., "Midland drainage" Adv. of Science, 7, (1951) 449 456

وعلى ذلك تتكون مثل هذه الأنهار عادة فى المناطق غير المستقرة تكتونيا حيث تساعد حدوث حركات الرفع التدريجية فى المجرى النهرى على زيادة فعل النحت الرأسى من جهة وتكوين جوانب نهرية شديدة الانحدار من جهة أخرى . ومن مميزات المجرى النهرى لهذه المجموعة من الأنهار ظهوره على شكل خانق ضيق عميق ذو جوانب حائطية الانحدار والشكل ، تحف المجرى النهرى دون أن تترك الفرصة لتكوين سهول فيضية فى قاع الوادى . ويوضح (شكل ٩١) تطور تكوين الأنهار المناضلة .

ومن أمثلة هذا النوع من الأنهار فى أمريكا الشمالية نهر كولومبيا ، وكذلك نهر أوجدن *Ogden* ونهر روير *Ruier* ويصب النهران الأخيران فى بحيرة جريت سولت حيث أنهما ناضلا واحتفظا بمجراهما على الرغم من حدوث حركات الرفع التدريجية التى أدت إلى تكوين مرتفعات واساتش *Wasatch Range* . وتعد المنابع العليا لنهر السند وبرهمابترا فى شبه القارة الهندية كذلك ، من بين هذه المجموعة من الأنهار . ويدخل ضمن هذه المجموعة بعض أنهار نيوزيلند مثل نهر وايبارا *Waipara* وهرونوى *Horunui* وايوا *Woıau* شمال كنتبرى ، وكلها تصب شرقا فى المحيط الهادى وتخترق خوانقا نهرية متعمقة ويحد جانبيها كتل من الحوائط الجبلية المرتفعة تكتونيا . وقد دلت نتائج الدراسات الجيومورفولوجية على أن هذه الأنهار المناضلة أو السالفة ، تم تكوين مجاريها خلال المراحل الأولى من حركة الارتفاع ومن ثم أطلق الأستاذ كوتون *C. A. Cotton* على هذه المجموعة من الأنهار تعبير *Anteconsequent* ، ذلك لأن أصل هذه الأنهار هى الأنهار الأصلية الأولى فوق السطح الأصلى ، بل وقد سبقت تكوين هذه الأنهار الأخيرة حيث أنها كانت تشكل المنطقة قبل حدوث عمليات الرفع . وقد أضاف الأستاذ ولدريدج *S. W. Wooldrıdge* (١) أن تعبير أنهار *Ante-Consequent* لا يجب أن

---

(1) Wooldridge, S W and Morgan R S An outlıne of geomor phology" London 1960, p 192



(شكل ٩١) مراحل تكوين الأنهار المتاصلة ـ لاحظ أن النهر التالى (الذى يمتد على طول محور الالتواء) استطاع أن يحتفظ بالاتجاه العام لمجراه على الرغم من حدوث عمليات الرفع التدريجية .

يرمز إلى مجموعة المجارى النهرية التى تعرضت لحركات ارتفاع كبرى أثرت فى البنية الجيولوجية لأقاليم واسعة الامتداد كما هو الحال مثلا فى مجارى أنهار منطقة الويلد *Weald* فى انجلترا ، ولكن يجب أن يستخدم هذا التعبير لكى يشير فقط إلى مجموعة المجارى النهرية القديمة التى تأثرت بحركات ارتفاع محلية *Localized Uplift* .

الرتب النهرية *Stream Orders* :

عند دراسة النظم النهرية فى أحواض التصريف النهرى تهتم الدراسة المورفومترية بتمييز رتبة أو مرتبة النهر . ويقصد بذلك درجة الروافد ، فهل هى روافد من المجموعة أو الرتبة الأولى التى تمثل أقصى أعالى النهر وأطرافه العليا ؟ أم روافد من الدرجة الثانية ؟ (حيث أن الروافد والمسيلات المائية من الدرجة الأولى تصب بدورها فى رافد أكبر من الدرجة الثانية وهكذا) وما مدى العلاقة بين عدد المجارى التابعة لكل رتبة والنسبة فيما بينها ، وعلاقة كل مجموعة بمساحة أحواض التصريف المائى الثانوية التابعة لها ؟

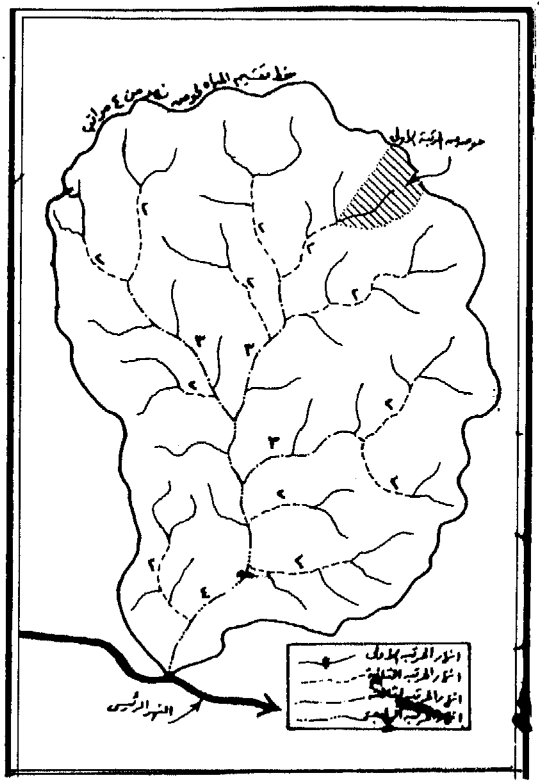
وعلى ذلك عند تصنيف النهر وروافده إلى رتب *Odrers* مختلفة ، يتبين أن كل زوج من مجارى الرتبة الأولى *First order* تتحد لتكون مجرى من الرتبة الثانية *Second order* الذى يمتد بدوره ليتصل بمجرى آخر من الرتبة أو المجموعة الثانية ويكونان معا مجرى من الرتبة الثالثة *Third order* وهلم جرا . وقد أوضح الأستاذ سترهلر [١] *Strahler, 1945* ، بأن تصنيف حوض النهر إلى رتب مختلفة بهذا الشكل تفيد عند دراسة كمية التصريف المائى الخاصة بكل وادى نهرى أو بمجموعة من الأودية النهرية ذات رتبة معينة من حوض النهر الرئيسى . وقد أجرى سترهلر أبحاثه فى حوض نهر من

(1) Strahler, A. N., "Physical geography", N. Y. (1954), 493 - 496.

أنهار المنطقة الوعرة الكبرى *The Big Badlands* فى داكوتا الجنوبية بالولايات المتحدة الأمريكية . وعلى خريطة لحوض هذا النهر (شكل ٩٢) نجد أن كل مجرى يحمل رقما يدل على رتبته ثم يمكن بعد ذلك حساب عدد المجارى التى تتبع كل رتبة .

ويمكن أن نرمز لرتبة المجرى *Stream order* بالرمز (مـ) ويرمز إلى عدد المجارى التابعة لنفس هذه الرتبة بالرمز (ع مـ) ، وبمقارنة النسبة بين عدد المجرى التابعة لرتبة معينة إلى عدد المجارى التابعة لرتبة أعلى منها مباشرة نحصل على ما أسماه سترهلر بنسبة التشعب *Bifurcation Ratio* ويمكن أن نرمز اليها بالرمز (ش ن) . على ذلك فإن نسبة التشعب (ش ن) =

$$\text{ش ن} = \frac{\text{ع مـ}}{\text{(ع مـ + ١)}}$$



(شكل ٩٢) رتب المجارى النهرية

ويتضح من دراسة الحوض النهرى السابق فى منطقة الأراضى الوعرة العظمى بولاية داكوتا الجنوبية ، وبدراسة الجدول الآتى ، أن مجارى الرتبة الأولى تساوى ٣ أمثال الرتبة الثانية ، وأن مجارى الرتبة الثانية تساوى ٤ أمثال عدد مجارى الرتبة الثالثة ، وأن مجارى الرتبة الثالثة تساوى ٣,٥ مثلا لمجارى الرتبة الرابعة وأن مجارى الرتبة الرابعة تساوى ٣ أمثال مجارى الرتبة الخامسة . وتعزى هذه الاختلافات فى نسبة التشعب إلى اختلاف عدد مجارى كل رتبة بحسب الظروف الجيولوجية والمناخية لمنطقة الدراسة ، ويتضح أن متوسط نسبة التشعب فيما بين الرتب الأربعة النهرية يكاد يكون ٣,٥ . (أنظر الجدول) .

وقد أوضح سترهلر كذلك بأنه عند دراسة أحواض نهرية متعددة ولكنها تتأثر بظروف مناخية متشابهة ، وأنها تتشابه كذلك من حيث البنية والتكوين الجيولوجى من حوض نهرى إلى آخر ، فإن نسبة التشعب بين رتب مجاريها تظل شبه ثابتة من حوض نهرى إلى آخر . وغالبا ما تتراوح نسبة التشعب فى معظم الأحواض النهرية العادية من ٣ إلى ٥ .

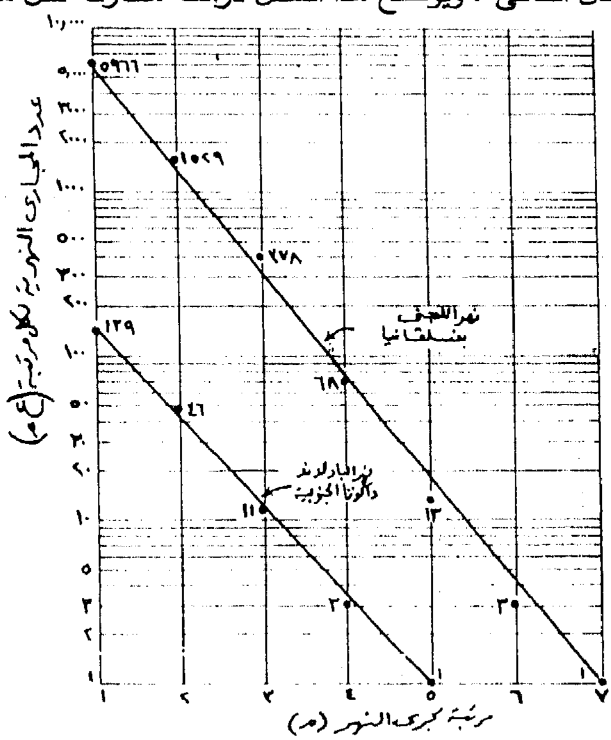
رتبة المجرى النهرى (م)	عدد المجارى فى كل رتبة (ع م)	نسبة التشعب (ش ن)
١	١٣٩	
٢	٤٦	٣,٠٢
٣	١١	٤,١٨
٤	٣	٣,٦٦
٥	١	٣,٠٠

جدول حوض نهر بولاية داكوتا الجنوبية

وقد اكتشف الأستاذ هورتون *R. E. Horton* ما أسماه بقانون عدد المجارى المائية *Law of Stream numbers* ، ويتلخص هذا القانون فى أن «عدد المجارى المائية التى تندرج تناقصيا فى مجموعاتها أو رتبها ، تكون متوالية هندسية ، تبدأ بمجرى يتبع أعلى رتبة ، وتزداد تبعا لنسبة تشعب ثابتة» . فمثلا إذا كانت نسبة التشعب (ش ن) تساوى ٣ والمجرى الرئيسى من الرتبة السادسة (٦) ، فإن عدد المجارى المائية ستكون ١ ، ٣ ، ٩ ، ٢٧ ، ٨١ ، ٢٤٣ .

أى أن توالى الأعداد هندسيا مثل ١ ، ٣ ، ٩ تمثل نسبة متزايدة ثابتة وإن كل رقم يتزايد بثلاثة أمثال عدد ما قبله .

ويمكن أن نوضح العلاقة بين عدد المجارى النهرية التابعة لكل رتبة (ع م) بالنسبة إلى رتبة المجرى النهرى (م) على رسم بيانى لوغاريتمى (شكل ٩٣) والجدل التالى . ويوضح هذا الشكل دراسة مقارنة لكل من الحوض



(شكل ٩٣) العلاقة بين عدد المجارى النهرية فى الرتب النهرية المختلفة

النهرى السابق فى الأراضى الوعرة بولاية داكوتا الجنوبية ، وحوض نهر اللجنى بولاية بنسلفانيا وعندما نصل بينس نقط التقاء الرتبة النهرية مع عدد المجارى النهرية التابعة لها على القطاع نجد أن جميع النقاط التابعة لكل نهر تكاد تتصل جميعا على طول خط مستقيم ، وان انحراف بعض النقاط عن هذا الخط المستقيم بسيط جدا . هذا ونلاحظ أن لحوض نهر اللجنى سبع رتب نهرية وعدد مجارى كل رتبة على التوالى هى :

٥٩٦٦ ، ١٥٢٩ ، ٣٧٨ ، ٦٨ ، ١٣ ، ٣ ، ١ وعلى ذلك فإن نسبة التشعب بين هذه الرتب النهرية على الترتيب هى ٣,٩ ، ٤,٠ ، ٥,٧ ، ٥,٣ ، ٤,٣ ، ٣,٠ (أنظر الجدول الآتى) :

جدول حوض نهر اللجنى ـ بولاية بنسلفانيا (١)

رتبة المجرى النهرى ـ	عدد المجارى النهرية ع ـ	نسبة التشعب ش ـ	متوسط طول المجرى النهرى (ميل) طـ	متوسط طول المجارى النهرية التراكمى (ميل) طـَ ـ	نسبة أطوال المجارى النهرية ن ط	متوسط مساحة الحوض النهرى (ميل٢) سَ
١	٥٩٦٦	٣,٩	٠,٠٩	٠,٠٩	٣,٣	٠,٠٥
٢	١٥٢٩	٤,٠	٠,٣	٠,٤	٢,٧	٠,١٥
٣	٣٧٨	٥,٧	٠,٨	١,٢	٣,١	٠,٨٦
٤	٦٨	٥,٣	٢,٥	٣,٩	٢,٨	٦,١٠
٥	١٣	٤,٣	٧,٠	١١,٠	٢,٩	٣٤,٠٠
٦	٣	٣,٠	٢٠,٠	٣١,٠		٢٤٢,٠٠
٧	١		٨ لم يكتمل طول النهر			٥٥٠,٠٠ (لم يكتمل الحوض)

(١) كل شرطة فوق الرمز تدل على قيم متوسطات لمدلول الرمز

وعلى ذلك يمكن القول أن العلاقة بين الرتبة ، وعدد المجارى النهرية التى تتبع هذه الرتبة ، انما تتبع متوالية هندسية توافق النموذج الكمى المعروف باسم المعادلة الأسية السالبة *Negative exponential function* ، ومن ثم اقترح الأستاذ هورتون *Horton* قانونه لعدد المجارى والذى يتخلص فيما يلى :

ع مـ = ش ن $^{(م - مـ)}$

حيث إن : م = مرتبة المجرى النهرى الرئيسى ، وهو الجزء النهرى الأعلى مرتبة . أو بمعنى آخر فإن قيمة (م) بالنسبة لحوض النهر فى منطقة الأراضى الوعرة بولاية داكوتا الجنوبية تساوى ٥ ، فى حين فى حوض نهر اللجنى تساوى ٧ .

وعلى فرض أن هناك مجرى مثاليا بنسبة تشعب (ش ن) تساوى ٣ ، ونفرض أن رتبة المجرى الرئيسى (م) تساوى ٥ . والمطلوب معرفة عدد مجارى الرتبة أو المجموعة الثانية لهذا النهر . فبالتعويض فى المعادلة الأسية السالبة السابقة يتضح أن عدد مجارى الرتبة الثانية لهذا النهر (ع$_{٢}$) =

ع مـ = ش ن $^{(٥-٢)}$

= ٣ن $^{(٣)}$ = ٢٧ نهرا

وقد لاحظ هورتون *Horton* أن اجمالى عدد المجارى النهرية التابعة لحوض نهر معين يمكن التعبير عنه بالمعادلة الآتية :

$$\Sigma \text{ ع مـ} = \frac{\text{ش ن}^{(\text{م})} - ١}{\text{ش ن} - ١}$$

حيث إن Σ ع مـ = مجموع المجارى النهرية .

واذا اختبرنا هذه المعادلة على أساس فرض نسبة التشعب (ش ن) = ٣

ورتبة المجرى النهرى الرئيسى (م) = ٥ فإن إجمالى عدد المجارى النهرية (ع مـ) =

$$\Sigma \text{ ع مـ} = \frac{٣^{(٥)} - ١}{٣ - ١}$$

$$\Sigma \text{ ع مـ} = \frac{٢٤٣ - ١}{٢} = \frac{٢٤٢}{٢} = ١٢١$$

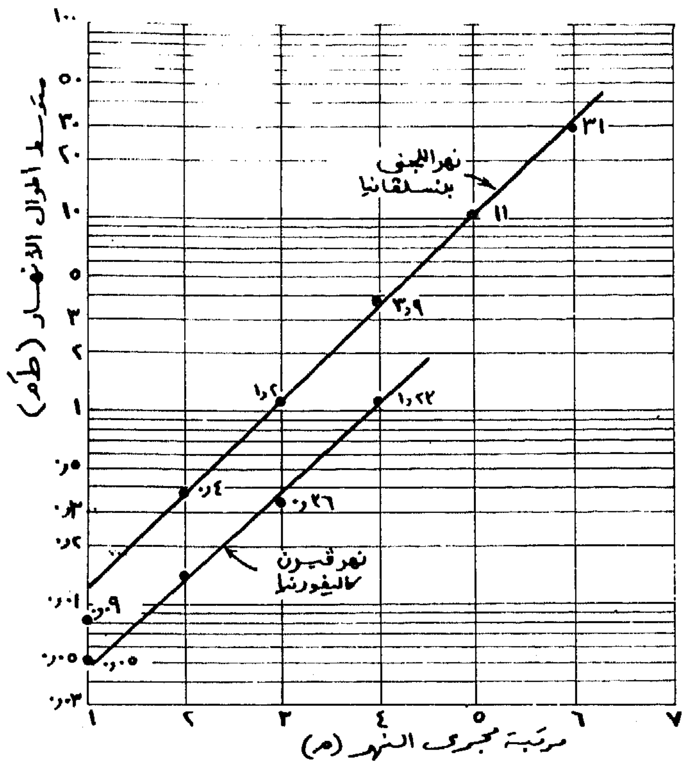
ع مـ = ١٢١ نهرا .

ويتضح ذلك من الجدول الآتى الخاص بهذا النهر .

رتبة النهر (مـ)	عدد الأنهار (ع مـ)	نسبة التشعب (ش ن)
١	٧١	
٢	٢٧	٣,٠
٣	٩	٣,٠
٤	٣	٣,٠
٥	١	٣,٠
م = ٥	ع مـ = ١٢١	ش ن = ٣

أطوال المجارى النهرية *Stream Lengths* :

يتضح مما سبق ومن دراسة الجداول الخاصة بأحواض الأنهار أنه يمكن القول عامة أن مجارى أنهار الرتبة الأولى لها فى المتوسط أصغر طول ، فى حين أن طول النهر يزداد مع زيادة رتبة المجرى النهرى . ومن دراسة الرسم البيانى اللوغارتيمى (شكل ٩٤) لحوض نهر اللجنى فى ولاية بنسلفانيا يتضح



(شكل ٩٤) العلاقة بين أطوال المجارى النهرية فى الرتب النهرية المختلفة

أن المجرى الرئيسى لهذا النهر يعد من الرتبة السابعة . وقد لخص الأستاذ هورتون العلاقة بين طول النهر ورتبته فى قوله : «أن متوسط طول المجارى النهرية ، يزداد بنسبة تقدر تقريبا بثلاثة أمثال طولها ، كلما زادت رتبة المجرى» .

ويطلق على نسبة الزيادة فى طول النهر تعبير نسبة الطول (ن ط) *Length Ratio* ، وغالبا ما تكون هذه النسبة ثابتة فى حوض النهر . ولكن اذا كان الحوض النهرى يتأثر بعوامل وقوى متباينة يتغير مداها من جزء من الحوض النهرى إلى آخر ، ففى هذه الحالة نلاحظ تباين واضح بين نسبة الطول فى المجارى النهرية .

وتعرف نسبة الطول (ن ط) كمياً بمثل تعريفنا لنسبة التشعب (ش مـ)

وتتلخص فى المعادلة الآتية :

$$ن ط = \frac{طَ مـ}{(طَ مـ - ١)}$$

حيث إن :

طَ م = متوسط الطول لمجارى الأنهار من رتبة ما (مـ) .

ويمكن قياس أطوال الأنهار بإستخدام عجلة القياس من الخرائط الطبوغرافية ، والذى يمكن أن نعرف بها مجموع أطوال الأنهار مباشرة من معرفتنا لمقياس الخريطة الطبوغرافية المستخدمة .

وعند قسمة الطول الكلى لمجارى الأنهار فى رتبة ما (ط مـ) على عدد المجارى النهرية التابعة لهذه الرتبة المعينة (ع مـ) ، فإن الناتج يكون متوسط طول المجارى النهرية فى هذه الرتبة ، أى أن :

$$طَ مـ = \frac{\Sigma ط مـ}{ع مـ}$$

وقد عدل الأستاذ سترهلر *Strahler, 1954. p. 486* فى قانون هورتون السابق الذى يعرف باسم قانون أطوال المجارى النهرية *Law of stream lengths* ويمكن أن نلخصه فيما يلى [١] :

«ان مجموع متوسطات أطوال المجارى النهرية من الرتب المتتالية تميل

---

(1) Strahler, A. N. "Physical geography" N. Y., 1954, P. 486.
"The Cumulative mean lengths of stream segments of successive orders tend to from a geometric series begining with the length of the first order segments and increasing according to a constant length ratio".

إلى تكوين متوالية هندسية تبدأ بمتوسط طول مجارى أنهار الرتبة الأولى وتتصاعد تبعا لنسبة طول ثابتة» .

أو بمعنى آخر أن مجموع متوسط أطوال (أو الطول التراكمى أو التجميعى) *Cumulative mean length* مجارى الرتبة الثانية تشمل كل من أطوال أنهار الرتبة الأولى بالاضافة إلى أطوال أنهار الرتبة الثانية معا ، وبالنسبة لمجموع أطوال أنهار الرتبة الثالثة ، فهى تشمل كل من أطوال أنهار الرتبة الثانية بالاضافة إلى أطوال أنهار الرتبة الثالثة ، وهكذا ... وفى الجدول الخاص بالبيانات عن حوض نهر اللجنى فى بنسلفانيا نلاحظ قائمة توضح متوسط أطوال الأنهار *mean length* وأخرى توضح متوسط الطول التراكمى أو التجميعى للأنهار فى الرتب المختلفة .

هذا ونلاحظ أن قانون أطوال المجارى النهرية يمكن التعبير عنه كذلك بمعادلة أسية تناقصية . ويوضح شكل (٩٤) رسم بيانى لوغاريتمى ، موضحا على المحور الرأسى مجموع متوسط أطوال المجارى النهرية (طَ مـ) فى حين يمثل المحور الأفقى مرتبة المجرى النهرى (مـ) . فإذا وقعت كل النقط (التى تمثل نقط التقاء رتبة النهر مع مجموع متوسط أطوال الأنهار فى الرتب المختلفة) على خط مستقيم ، فإن هذه النتيجة تؤيد قانون هورتون السابق . وبالنسبة لنهر اللجنى وروافده يتضح من الشكل أن النقط التابعة للمجارى النهرية من الرتبة الثانية حتى الرتبة السادسة تقع جميعها على طول الخط المستقيم وذلك فيما عدا مجارى أنهار الرتبة الأولى التى تحيد كثيرا عن هذا الخط وقد يرجع ذلك إلى أن نهاياتها مستقلة *Free terminus* ، ومن ثم لا يمكن تحديد أطوالها بدقة .

أما بالنسبة للنتائج المورفومترية للتصريف المائى فى منطقة أخدود فيرن *Fern Canyon* بكاليفورنيا فإن جميع النقط التى تقع على طول الخط المستقيم . ومن هذا الشكل نلاحظ كذلك أن متوسط أطوال الأنهار تختلف كثيرا بالنسبة للرتبة الواحدة من حوض نهرى إلى آخر . ويعزى ذلك إلى

العوامل الجيولوجية (البنية والتكوين الجيولوجى) ، والعوامل المناخية بل وتذبذب المناخ وأثره فى تشكيل مورفولوجية حوض النهر ، ثم مرحلة تطور النهر نفسه .

ويمكن أن نعبر عن قانون هورتون *Horton* الخاص بأطوال المجارى النهرية فى المعادلة الآتية :

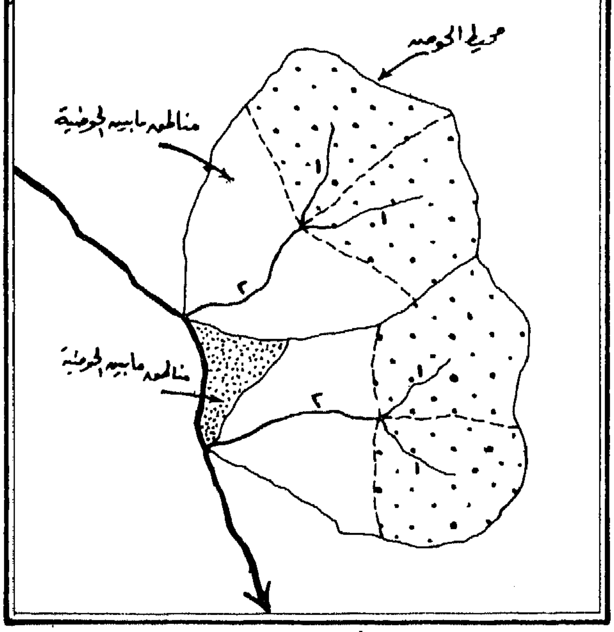
$$\text{ط}_{\text{مـ}} = {}_{1}\text{ط} \ (\text{ن ط})^{(\text{مـ} - 1)}$$

حيث إن : ١ ط = متوسط طول مجارى أنهار الرتبة الأولى .

مساحات الأحواض النهرية *Basin Areas* :

عند حساب مساحة الأحواض النهرية يوضع فى الاعتبار العلاقة بين متوسط مساحة حوض نهر فى رتبة ما ، (س) ، والرتبة النهرية (مـ) . وكما يتضح فى شكل (٩٥) أنه يتألف من حوض نهرى من الرتبة الأولى ، والرتبة الثانية ، وتتكون الرتبة الأولى من أربعة أحواض نهرية ، فى حين تتكون الرتبة الثانية من حوضين . وهذه الأحواض جميعها تعد كلها جزءا من حوض نهر فى الرتبة الثالثة . وترمز الأرقام فى الرسم إلى رتب الأنهار فى حين يرمز كل سهم إلى اتجاه الانحدار العام . وهناك مناطق محدودة المساحة ، شبه مثلثة الشكل تقع فيما بين كل حوضين نهريين ويطلق عليها مناطق ما بين الحوضين *Inter - basin area* . ويجب أن ندرك بأن مساحة حوض نهرى من الرتبة الثانية تشمل مجموع مساحة أحواض أنهار الرتبة الأولى مضافا إليها مساحة أحواض أنهار الرتبة الثانية وكذلك مناطق ما بين الحوضين الواقعة فى محيطها . أو بمعنى آخر أن مساحة حوض نهر فى رتبة ما تتضمن مجموع مساحات كل الأحواض النهرية ذات الرتب النهرية الأدنى من رتبة الحوض . وعلى ذلك يلخص الأستاذ هورتون *Horton* قانونه الخاص بمساحة الأحواض النهرية *Law of basin areas* فيما يلى :

«إن متوسط مساحة حوض نهرى لمجارى أنهار من مجموعات متتالية



(شكل ٩٥) تحديد مساحة الأحواض النهرية فى الرتب النهرية المختلفة

تكون متوالية هندسية بدايتها متوسط مساحة حوض من الرتبة الأولى وتزداد تبعا لنسبة مساحة ثابتة، (١) .

وعلى ذلك فإن نسبة المساحة (رن) للحوض النهرى فى رتبة ما تتلخص فى المعادلة الآتية :

$$\text{رن} = \frac{\text{س}}{(\text{سَ} - ١)}$$

سَ = متوسط المساحة لحوض نهر من رتبة ما (مـ) .

وبمقارنة هذه المعادلة مع قانون أطوال الأنهار فإنه يمكن ايجازه بالصورة التالية :

---

(1) The mean basin areas of successive stream orders tend to from a geometric series beginning with mean area of the first order basins and increasing according to a constant area ratio.

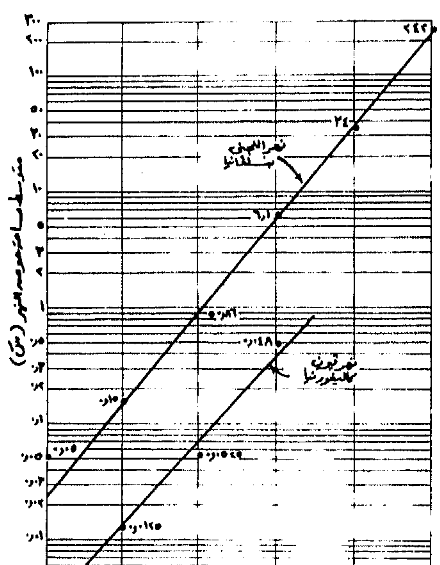
$$س = {}_{١}س \; (ر_{ن})^{(م-١)}$$

حيث أن : ${}_{١}س$ = متوسط مساحة حوض نهر من المرتبة الأولى .

ويمكن كذلك أن نوضح العلاقة بين رتبة المجرى النهرى (م) وجملة مساحة الأحواض النهرية فى الرتب النهرية (س) المتتالية على رسم بيانى لوغاريتمى (شكل ٩٦) . ويضم هذا الشكل أوجه الشبه والاختلاف بين حوض نهر اللجنى فى بنسلفانيا ، وأخدود فيرن فى كاليفورنيا .

قانون النمو النسبى المقارن *Law of allometric growth* :

خلال مراحل نمو النهر قد تتكون كثير من الروافد النهرية الجديدة فى حوض النهر ، هذا إلى جانب تكوين نهيرات جبلية صغيرة تقطع منطقة أعالى النهر وتصب فى روافد النهر الرئيسة . ويشاهد هذا النمو النهرى بصورة واضحة فى الأحواض النهرية النشيطة تكتونيا ، وتلك الشديدة النحت الرأسى ، حيث إن التراجع الخلفى *Headward or backward erosion* للروافد النهرية العليا يكون سريعا . وعندما تتكون روافد جبلية عليا جديدة تضاف إلى الحوض النهرى ، وتتصل هذه الروافد بأنهار الرتبة الأولى العليا ،



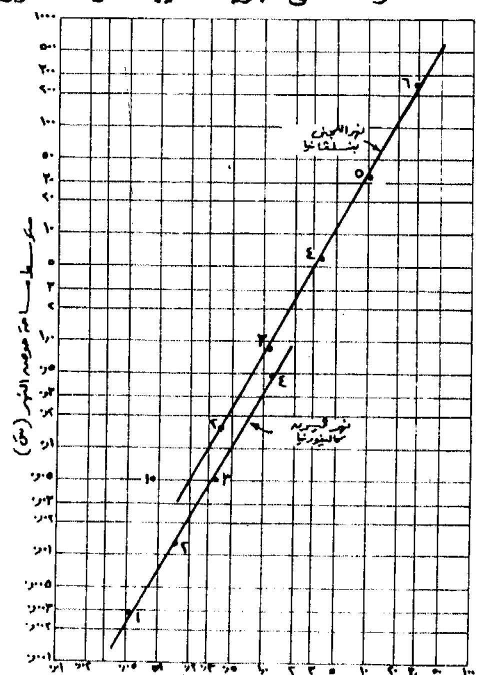
(شكل ٩٦)
العلاقة بين جملة المساحة التجميعية للأحواض النهرية فى الرتب النهرية المختلفة

فإن كل مجموعة من الأفرع القديمة بحوض النهر تنتقل قيمتها لرتبة أعلى *To a higher order* .

وقد رجح العلماء بأن الأحواض النهرية يمكن أن تتبع قوانين نمو أساسية أثناء مراحل نموها ، خاصة اذا كانت التكوينات الصخرية متجانسة ، والظروف المناخية متشابهة بين أجزاء الحوض النهرى . وقد استفاد الجيومورفولوجيون من استخدام قانون النمو النسبى المقارن *Low of allomtric growth* المعروف أصلاً فى الدراسة البيولوجية ، وأمكن الاستعانة به فى تفسير مراحل نمو النهر ومدى هذا النمو بين جزء وآخر فى الحوض النهرى . وإذا كان قانون النمو النسبى المقارن ينص فى الدراسة البيولوجية على أن معدل النمو النسبى لعضو ما من جسم الكائن الحى ، يكون بمعدل ثابت بالنسبة لمعدل النمو النسبى للكائن الحى بأكمله ، فإننا يمكن أن نطبق هذا القانون على معدل نمو أجزاء النهر بالنسبة للحوض النهرى بأكمله كذلك .

ويلاحظ عند دراسة قانون هورتون *Horton* الذى يوضح العلاقة بين متوسط طول مجرى النهر بالنسبة لرتبته أن هناك معدل نمو ثابت فى الطول يقابله فى نفس الوقت ازدياد فى الرتبة النهرية ، وعلى ذلك فإن وجود رتب متتالية إن دلت على شئ فإنما تدل على مدة زمنية أطول وتعاقب زمنى مستمر بالنسبة لتكوين تلك الرتب . وبالمثل فإن الزيادة فى المساحات الحوضية بالنسبة لحوض نهر فى رتبة ما ، يمكن اعتباره كأنه معدل نمو ثابت ، يزداد مع زيادة الفترة الزمنية . وعلى ذلك فى كل حالة من حالة أطوال المجارى النهرية ، والمساحات الحوضية نلاحظ أن هناك معدل نمو ثابت يزداد مع زيادة الرتبة النهرية وبطول الزمن . ويمكن أن نوضح هذه العلاقة على رسم بيانى لوغارتيمى (من نوع المعدل الثابت) *"Logorihmic or constant ratio type"* يظهر العلاقة بين المساحات الحوضية من جهة وأطوال المجارى النهرية من جهة أخرى .

وتظهر هذه العلاقة على الرسم البيانى اللوغاريتمى على شكل خط مستقيم يربط بين النقاط المختلفة التى توضح كل منها العلاقة بين طول النهر (ط مـ) ومساحة حوض النهر (س) ويوضح شكل (٩٧) هذه العلاقة المذكورة لكل من حوض نهر اللجنى فى بنسلفانيا ، وحوض نهر فيرن *Fern* فى كاليفورنيا . ومن دراسة هذا الشكل يتضح أن رتب نهر اللجنى من رتبة ٢ إلى رتبة ٦ ، تتوافق مع الخط المستقيم أما النقط التابعة للرتبة الأولى (طولها ٠,١ ميل ، ومساحة الحوض ٠,٠٥ ميل ٢) فإنها تحيد عن هذا الخط . وهذا ما حدث أيضا بالنسبة لأنهار الرتبة الأولى لحوض نهر اللجنى فى شكل (٩٤) عند دراسة العلاقة بين رتبة مجرى النهر ومتوسط أطوال الأنهار . وفى شكل (٩٦) عند دراسة العلاقة بين رتبة مجرى النهر ومتوسط مساحة حوض النهر . ويعزى ذلك إلى أن بيانات الرتبة الأولى للنهر ليست كاملة لأن قسما كبيرا منها يقع خارج منطقة الدراسة التى أجريت عليها الدراسة المورفومترية .



(شكل ٩٧) العلاقة بين جملة المساحة التجميعية للأحواض النهرية
وأطوال المجارى النهرية فى رتبها المختلفة

أما جميع النقط التابعة لحوض نهر فيرن *Fern* فى كاليفورنيا ، فتقع على امتداد الخط المستقيم على الرسم البيانى اللوغاريتمى .

وإلى جانب الدراسة المورفومترية يحتاج الباحث إلى المعلومات الخاصة بالمناخ وتغيره من فترة زمنية إلى أخرى فوق أجزاء حوض النهر ، والالمام بالدراسة الجيولوجية التفصيلية لحوض النهر حتى يمكن تطبيق مدلولات قانون النمو النسبى المقارن لأحواض الأنهار . ويمكن أن نوضح العلاقة بين متوسط مساحة حوض النهر ومتوسط طول المجرى النهرى كمياً فى المعادلة الآتية :

س َ = ث (ط َ مـ) (ن)

حيث إن: ث = عدد ثابت ، (ن) تمثل أس .

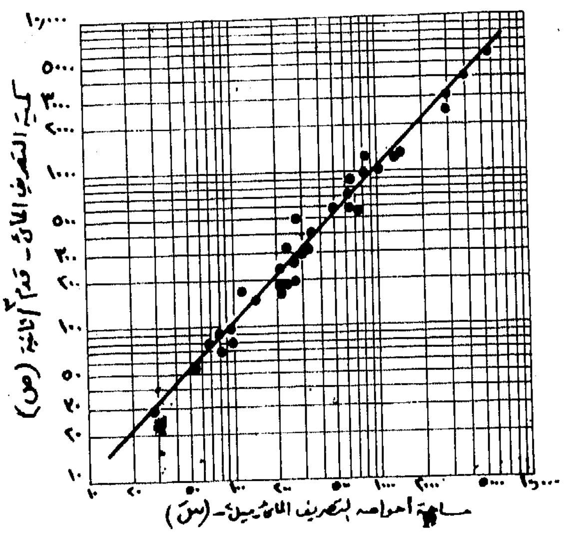
جريان النهر ، وحجم التصريف المائى فى الأحواض النهرية :

تهتم الدراسة المورفومترية بدراسة مجارى الأنهار ، وتحديد العوامل التى تؤثر فى سرعتها ، وكمية تدفق المياه فيها وقدرتها على النقل وحمل الرواسب المختلفة وحجم التصريف المائى لمجارى الأنهار فى كل حوض نهرى ، حتى يمكن الاستفادة بتلك النتائج عن دراسة هندسة النظام النهرى وهيدرولوجية النهر .

ومن المعلوم أن كمية التصريف المائى تزداد بزيادة مساحة حوض النهر . وتحاول الدراسة المورفومترية ايجاد أنسب المعادلات الكمية لتعبر عن هذه الحقيقة . وعلى ذلك إذا وضعنا مقاييس معينة لقياس منسوب المياه فى مجرى النهر عند منطقة مصب كل مجرى نهرى من كل رتبة (مصب النهر فى هذه الحالة هو نقطة التقاء نهر من رتبة أدنى مع نهر من رتبة أعلى منه مباشرة) ، ثم إيجاد المساحة الخاصة بكل حوض نهرى من رتبة معينة ويمكن أن نعبر عن التصريف المائى لنهر ما فى رتبة ما فى هذه الحالة بأنه عبارة عن حجم المياه المنصرفة فى حوض هذا النهر والواقعة خلف نقطة

مصب النهر التى يوجد عندها مقياس منسوب مياه المجرى النهرى .

ويوضح شكل (٩٨) العلاقة بين متوسط الصرف (ص) *Average discharge* (قدم٣ / ثانية) بالنسبة لمساحة حوض النهر (س) *Drainge area* ، فى حوض نهر بوتوماك *Potomac* . وكل نقطة على الرسم البيانى اللوغاريتيمى تمثل مقياس تصريف مائى عند مصب الروافد النهرية فى حوض هذا النهر . ويلاحظ أن النقط التى توجد عند الطرف الجنوبى الغربى من الرسم البيانى تمثل مقاييس منطقة المنبع (المنطقة العليا) ، فى حين أن النقط التى توجد عند الطرف الشمالى الشرقى من الرسم البيانى تمثل مقاييس منطقة المصب الرئيسى (المنطقة الدنيا) . ومن دراسة هذه النقط التى تكاد تتصل جميعها بخط مستقيم يتبين أن كمية التصريف المائى تزداد فى اتجاه عام من الجنوب الغربى إلى الشمال الشرقى على الرسم البيانى ، أو بمعنى آخر كلما زادت مساحة حوض الصرف (س) ، ترتفع كمية المياه المنصرفة (ص) .



(شكل ٩٨) العلاقة بين متوسط التصريف المائى بالنسبة لمساحة حوض الصرف ، وذلك بالنسبة لكل محطات الصرف الواقعة فى حوض نهر بوتوماك - كل نقطة على الرسم تمثل محطة للتصريف المائى

ويمكن أن نعبر عن هذه العلاقة كمياً بالمعادلة الآتية :

ص َ = ث (س) (ن)

حيث إن :

ث = عدد ثابت .
ن = تمثل الأس .
ص َ = متوسط التصريف المائى (قدم ٣ / ثانية) .
س = مساحة حوض التصريف (ميل ٢) .

وحيث إن هذا الخط المستقيم يكون زاوية قدرها ٤٥ ° مع الاتجاه الأفقى على الرسم البيانى ، فيمكن القول بأن قيمة الأس (ن) تساوى الواحد الصحيح تماما . ومعنى ذلك بصورة أخرى أن التصريف المائى يزداد زيادة مباشرة مع زيادة مساحة حوض النهر . ونادرا ما تقل قيمة الأس (ن) عن ١ ، فى بعض الأنهار الأخرى تبعا لظروف كل نهر ، والأقاليم المناخية التى تمثل فى حوض هذا النهر ، وكثافة الروافد التى تغذى مجرى النهر الرئيسى ، كما هو الحال بالنسبة لحوض نهر النيل فى مصر .

كثافة التصريف المائى ودرجة التضرس :

Drainge density and texture of topography :

تزداد درجة التضرس فى الأراضى الوعرة حيث تعمل الأنهار على شق التكوينات الصخرية اللينة وحفر مجارى نهرية عميقة فيها ، غير منتظمة الشكل قصيرة الامتداد . وتتقارب هذه المجارى فيما بينها .،ومن ثم يتميز السطح بشدة تضرسه وتقطعه بتلك المجارى النهرية . وبغض النظر عن مساحة أحواض أنهار الرتبة الأولى سواء أكانت هذه المساحة كبيرة أو محدودة ، فإن القانون العام الذى ينظم العلاقة بين رتب المجارى النهرية ومساحة الأحواض النهرية يكاد يكون ممثلا بصورة مشابهة فى كل أحواض الأنهار ، وأن الاختلاف محدود فى نسبة التشعب كما سبق القول حيث تتراوح هذه

النسبة فى أحواض الأنهار من ٣ إلى ٥ . ويمكن حساب كثافة التصريف المائى (ك ص) *Drainage density* عند قسمة طول المجارى النهرية (بالأميال مثلا) على المساحة الكلية للحوض النهرى الخاص بهذه الأنهار (بالأميال المربعة) ونعبر عن هذه العلاقة بالمعادلة الآتية :

$$\text{ك ص} = \frac{\Sigma\ (\text{ط مـ})}{\text{س مـ}}$$

حيث إن :

ك ص = كثافة التصريف المائى .

Σ ط مـ = الطول الكلى للمجارى النهرية فى كل المراتب المختلفة (بالأميال) .

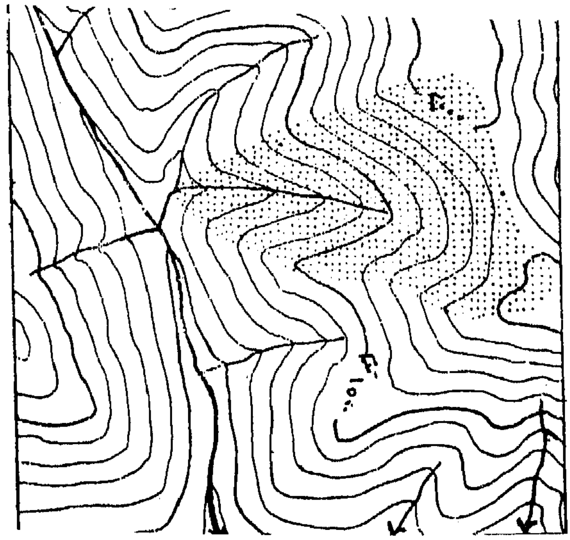
س مـ = المساحة الكلية للحوض النهرى (ميل مربع) .

فإذا افترضنا أن كثافة التصريف المائى تساوى ١٢ .

فإن معنى ذلك أن كل ميل مربع واحد من مساحة حوض النهر يخصه ١٢ ميلا من المجارى النهرية .

ولكى نوضح العلاقة بين الطول الاجمالى للأنهار بالنسبة لمساحة الحوض، وكثافة التصريف المائى ، سندرس فى الأشكال الآتية مناطق مختلفة من سطح الأرض ، مساحة كل منها ميلا مربعا واحدا ، ولكن تتقطع بدرجات مختلفة بالأنهار ، ومن ثم لكل منها درجة مختلفة من كثافة التصريف المائى وتتخلص هذه الحالات فيما يلى :

أ – شكل (٩٩) يمثل منطقة ذات كثافة تصريف مائى منخفضة *Low drainage density* تتراوح بين ٣ إلى ٤ أميال / ميل ^{٢} . وتتألف تلك المنطقة من أرض مغطاة بغابات كثيفة وتتكون صخورها من الحجر الرملى الشديد الصلابة وعلى ذلك فأنهارها عميقة ومحددة وقليلة العدد ، ويطلق على هذه المنطقة ذات كثافة التصريف المائى المنخفض بأن لها



(شكل ٩٩) تصريف مائى ذو كثافة منخفضة

نسيج تضاريسى خشن *Coarse texture* .

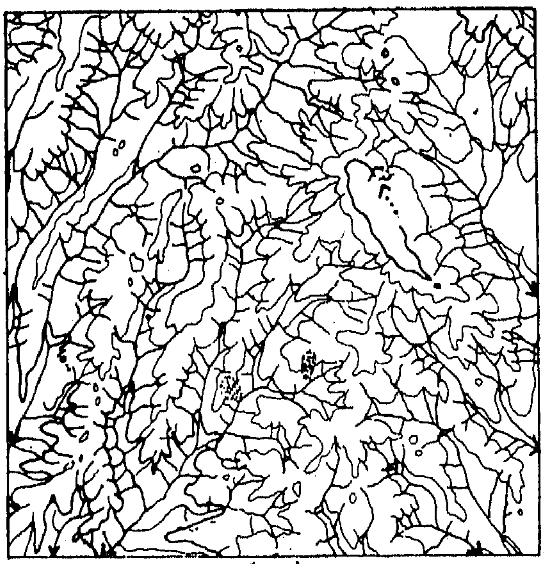
ب – شكل (١٠٠) يمثل منطقة ذات كثافة تصريف مائى متوسطة *Medium drainage density* تتراوح بين ١٢ إلى ١٦ ميلا / ميل ٢ . وتتألف هذه المنطقة من طبقات رقيقة السمك من الحجر الرملى وطبقات سميكة من



(شكل ١٠٠) تصريف مائى ذو كثافة متوسطة

الصلصال السريع التآكل بفعل التعرية النهرية . إلا أن المنطقة تقع فى نطاق المناخ المعتدل البارد فى شرق الولايات المتحدة الأمريكية ومن ثم فإن طبقات الصلصال مغطاة بالغابات . وعلى ذلك عملت الأمطار الغزيرة الساقطة على حفر أودية وروافد نهرية فى الأجزاء العليا من الأنهار ، وأصبحت الأنهار متقاربة من بعضها البعض ، ويطلق على هذه المنطقة ذات كثافة التصريف المائى المتوسط بأن لها نسيج تضاريسى متوسط .

جـ - شكل (١٠١) يمثل منطقة ذات كثافة تصريف مائى عالية *Hig draingage density* ، تتراوح بين ٣٠ إلى ٤٠ ميلا / ميل ٢ ، وتتألف هذه المنطقة من تكوينات صخرية ضعيفة التماسك وتؤثر فيها عوامل التعرية بسهولة ، وتمثل مناطق جبلية عالية تقل فيها الغطاءات النباتية . وتعمل الأمطار الغزيرة وشدة التراجع الخلفى للأنهار على تقطع السطح بعديد من الأنهار القصيرة ، الشديدة الانحدار والعميقة السريعة الجريان . وقد تزداد كثافة التصريف المائى إلى أكثر من ١٠٠ ميلا /



(حـ)

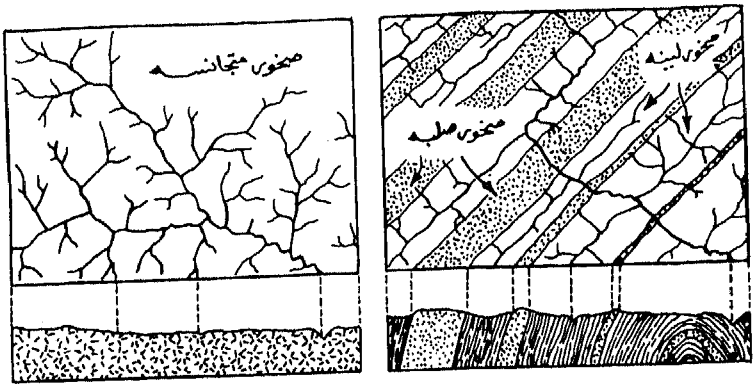
(شكل ١٠١) تصريف مائى ذو كثافة مرتفعة

ميل [٢] . ويطلق على هذه المنطقة ذات كثافة التصريف المائى العالية بأن لها نسيج تضاريسى دقيق *Fine texture* .

د - أما إذا كانت المنطقة ذات كثافة تصريف مائى عالية جدا *Very high drainage density* ، وتتروح فى هذه الحالة من ٢٠٠ إلى ٥٠٠ ميلا / ميل [٢] كما هو الحال فى بعض أجزاء من جنوب ولاية داكوتا بالولايات المتحدة الأمريكية . وتتألف التكوينات الصخرية فى هذه الحالة من تكوينات صخرية متجانسة ضعيفة التماسك جدا ، وتتعرض المنطقة لسقوط أمطار غزيرة طوال العام ، ويطلق على مثل هذه المنطقة ذات كثافة التصريف المائى العالية جدا بأن لها نسيج تضاريسى دقيق جدا *Ultra-fine texture* .

أشكال التصريف النهرى

يعتبر الشكل العام الذى تظهر به مجموعة المجارى النهرية المختلفة فى إقليم ما ، النتيجة الأساسية الهامة التى تربط بين خصائص التكوين الصخرى ونظام بنائه من جهة ، وبين مناخ الإقليم والتطور الجيومورفولوجى للمجارى النهرية ، فى هذا الإقليم من جهة أخرى . وكما سبق القول أن كثافة التصريف النهرى تختلف فى المناطق الرطبة الغزيرة الأمطار عن تلك فى المناطق الجافة القليلة الأمطار . إلا أن للتكوين الصخرى أهمية بالغة فى تشكيل أنماط التصريف النهرى المختلفة ، إذ تتوقف هذه الأشكال على مدى نفاذية الصخور للمياه من جهة ومدى تجانسها من جهة أخرى . ففى المناطق التى تتميز بتجانس تكوينها الصخرى سواء أكانت تتكون من صخور طينية متجانسة *Homogenous caly* أو من أخرى نارية متجانسة ، تساعد على تكوين تصريف نهرى أشبه بشكل أفرع الشجرة . بينما يتميز التصريف النهرى فوق المناطق التى تتألف من صخور صلبة متعاقبة فوق صخور لينة من أنهار تشق مجاريها فى مناطق الضعف الجيولوجى ، ومن ثم يظهر التصريف النهرى على شكل أنهار متشابكة تعكس أثر اختلاف التكوين



(شكل ١٠٢) العلاقة بين التكوين الصخرى وأشكال التصريف النهرى

الصخرى *Reflection of the structure* (شكل ١٠٢) .

وقد اهتم الأستاذ زرنيتز *Zernitz* [1] فى كتاباته منذ عام ١٩٣٢ بدراسة العلاقة المتبادلة بين أشكال التصريف النهرى ، والتكوين الجيولوجى الذى تتكون فوقه ، وتتخلص أهم العوامل التى تؤثر فى أشكال التصريف النهرى فيما يلى :

أ - طبيعة الانحدار الأصلى .

ب - اختلاف التكوين الصخرى ونظام بنية لطبقات .

جـ - مدى تجانس الصخور .

د - أثر حركات الرفع التكتونية وحركات التصدع فى تعديل المظهر العام للتصريف النهرى وتجديد نشاط المجارى النهرية .

هـ - نوع المناخ الذى يتعرض له الإقليم ومدى كمية التساقط .

و - التطور الجيومورفولوجى لحوض النهر نفسه .

وتتلخص أهم أنواع أو أشكال التصريف النهرى فى المجموعات الآتية :

١ - **التصريف النهرى الشجرى** *Dendritic Drainage* :

يتكون هذا النوع من التصريف النهرى فوق مناطق صخرية أهم ما

---

(1) Zernitz, E. R., "Drainge patterns and their significance", Journal of Geology, vol 40 (1932), 498 - 521.

يميزهـا هو تجـانس صـخـورها من حيث التكوين الصـخرى ونظام بنية الطبقات . ويظـهر مثل هذا النمط من التـصريف النهرى فى الطبقات الصخرية التى تتألف من صخور رسوبية أفقية أو فوق صخور نارية متجانسة صلبة ، يتشابه تركيبها الجيولوجى من جزء إلى آخر ، كما يتكون هذا النمط من التصريف كذلك فوق الطبقات الصخرية المتحولة ، خاصة إذا انطبعت المجارى النهرية ذات التصريف الشجرى فوق هذه الصخور المتحولة الصلبة بعد أن أزيل الغطاء الصخرى الأعلى الذى تكونت أصلا فوقه .

وعلى ذلك فإن أهم العوامل التى تشكل التصريف النهرى فى هذه الحالة ، هو عامل الانحدار العام لسطح الأرض ، بحيث لا تتعرض المنطقة لحركات تكتونية تؤثر فى نظام بنية صخورها . وتتكون المجارى النهرية التى تنتمى إلى هذا النوع من التصريف من روافد نهرية تلتقى مع بعضها البعض فى شكل زوايا حادة ، ونادرا ما تزيد زاوية اتصال الروافد الثانوية الرئيسة عن ٧٠° . وعندما يزداد تكوين الروافد الثانوية للمجارى النهرية بمرور الزمن يتكون فى النهاية نظام نهرى أشبه بشجرة متعددة الفروع .

وإذا كان امتداد الروافد الثانوية التى تلتقى بمجرى النهر الرئيسى متشابها ويوازى بعض مجاريها بعضها الآخر ، وتلتقى مع هذا النهر الرئيسى فى زوايا متساوية المقدار فيطلق على هذا النمط من التصريف الشجرى تعبير التصريف الشجرى الريشى *Pinnate Patterm* .

وقد درس الأستاذ «جلوك» *W. S. Glock* [1] التصريف النهرى الشجرى وأكد أن أهم العوامل التى تؤثر فى أشكال هذا التصريف المائى تتمثل فيما يلى :

أ - مدى تجانس التكوين الجيولوجى للصخر .

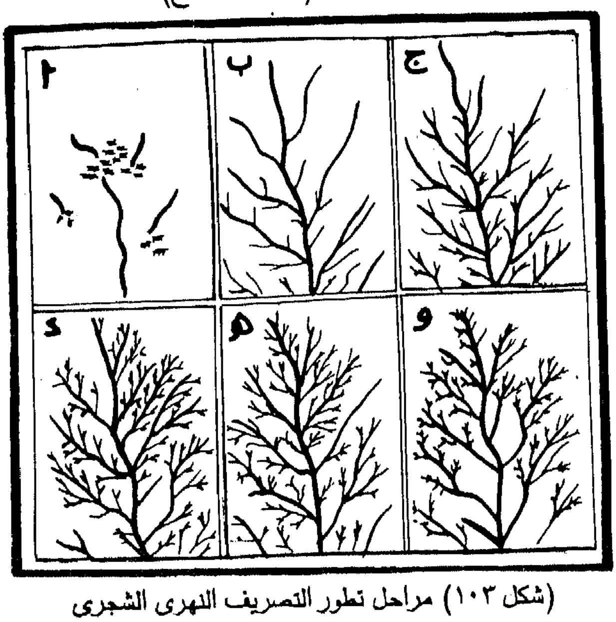
---

(1) Glock, W. S., "Tributary development in drainage system" Georgraphical Review, vol. 21 (1931).

ب – مدى مسامية الصخر ودرجة انفاذه للمياه .
جـ – كمية الأمطار الساقطة .
د – مرحلة نمو التصريف النهرى تبعا للتطور الجيومورفولوجى للمنطقة .

وقد رجح الأستاذ «جلوك» كذلك دورة نمو يمر بها عادة أشكال التصريف الشجرى إلى أن يصل لشكله العام المعروف بأفرع الشجرة . ففى المراحل الأولى من تطور أشكال هذا التصريف ، قد تبدو المجارى النهرية قصيرة ومحدودة العدد فى المنطقة . وتعرف هذه المرحلة بتعبير بداية تكوين الأنهار *Initiation Stage* (شكل ١٠٣ أ) .

ولكن تبعا لتتأثر المجارى النهرية بتوالى عمليات النحت الرأسى ، تتراجع مجاريها صوب المنبع ، ومن ثم تزداد أطوالها وأطلق عليها «جلوك» مرحلة ازدياد أطوال الأنهار *Elongation* (شكل ١٣ ب) . وفى آخر هذه المرحلة تبدأ المجارى النهرية تنظم أشكالها وتعمق مجاريها . وترسم شخصيتها فى صخور المنطقة التى تشقها ، وبذا عرفت هذه المرحلة باسم مرحلة تنظيم امتداد المجارى النهرية *Elabortion Stage* (شكل ١٠٣ ج) .



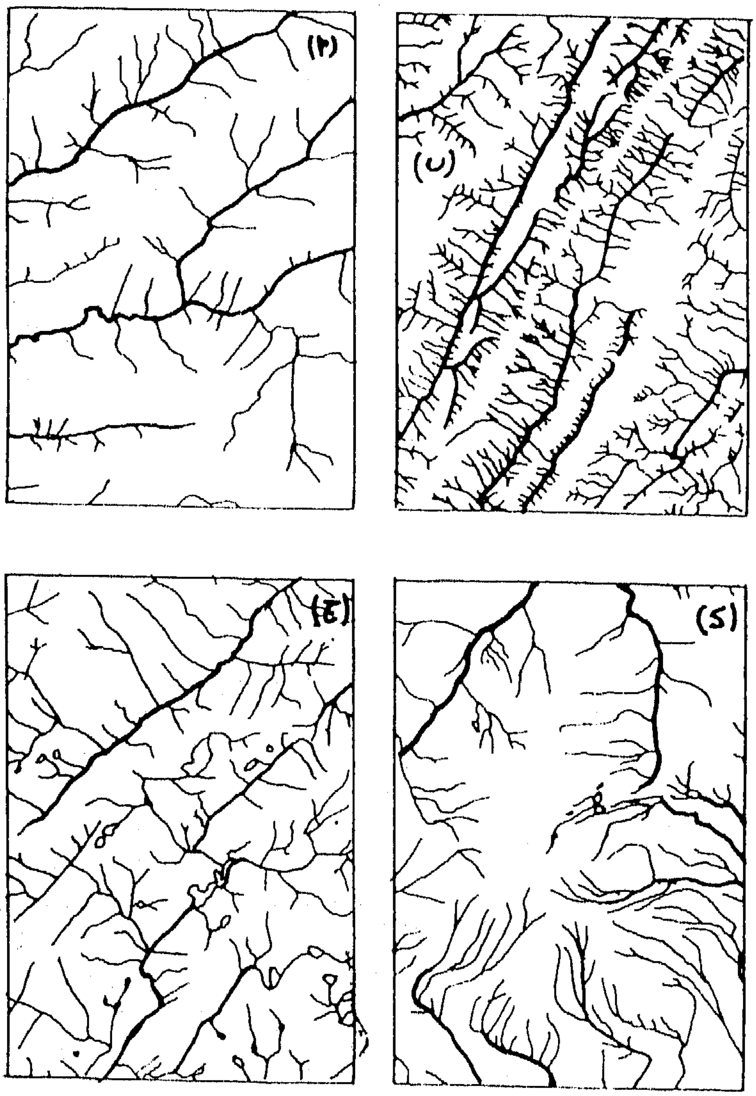
(شكل ١٠٣) مراحل تطور التصريف النهرى الشجرى

وبعد هذه المرحلة الأخيرة تصل المجارى النهرية إلى أقصى امتدادها وتبلغ أوج نموها وعلى ذلك يطلق على هذه المرحلة تعبير مرحلة الامتداد الكبير للمجارى النهرية *"Maximum Extension"* (شكل ١٠٣ د) وعندما تصل المجارى النهرية إلى هذا النمط الأخير تتجمع المجارى النهرية القصيرة الصغيرة فى أودية تلك الكبيرة التى تعمل إلى مستوى قاعدة أشد انخفاضا من الأولى ، وعلى ذلك تبدأ اعداد المجارى النهرية فى النقصان من جديد (شكل ١٠٣ هـ ، و) ومن ثم تعرف هذه المرحلة الجديدة فى تنظيم أشكال التصريف النهرى الشجرى باسم مرحلة تدهور المجارى النهرية الضعيفة *"Integration Stage"* .

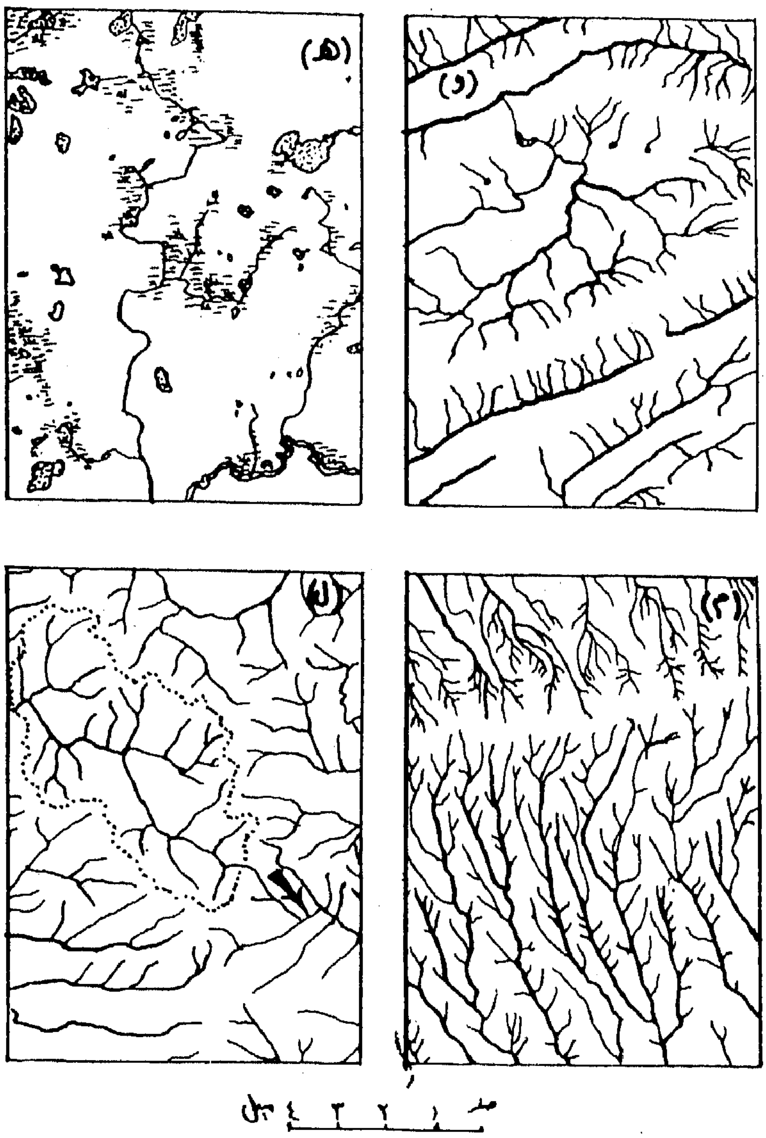
٢ - التصريف النهرى المتشابك أو المشبك *Trellis Drainge* :

يتضح مما سبق أن هذا النمط من التصريف النهرى يشكل معظم أراضى الحافات الصخرية والكوستات فى العالم *(Scarpland Topography)* . وتتألف المجـــار النهرية فى هذه الحالة من أنهار طولية متوازيـة تتجـه مع امتـداد ميل الطبقــات ، تتميز بروافد عرضية تشق بدورها صخورا لينة أو ضعيفـة وتمتد مع مضرب الطبقـات *strike-line* وتتصـل بأنهـار مـيل الطبقـات فى منـاطق تشكلها مجـارى نهرية ذات زوايا قائمة . ويتكون هذ النـوع من التصريف النهرى فى المناطق التى تتركب من صخور طباقية مكونة من تكوينات لينة متعاقبة فوق تكوينات أخرى صلبة (شكل ١٠٤ ب) .

وقد ينجم عن تعرض المنطقة لحدوث صدوع طولية متوازية ، ظهور شرائح من الطبقات الصلبة تفصـل بينها طبقـات أخرى لينة ، ومن ثم تمتد المجارى الطولية الرئيسة فى نطـاق الطبقات اللينة ، وتنمو روافدهـا العرضية على طول مضرب الطبقات ، وتبعا لذلك تلتقى معظم إن لم يكن كل الروافد العرضيـة بتلك الطولية على شكل زوايا قـائمة ويطلق على هذا التصريف النهرى فى هذه الحالة تعبير «التصريف النهرى المتشابك



(شكل ١٠٤) الأشكال المختلفة للتصريف النهرى



(تابع شكل ١٠٤) الأشكال المختلفة للتصريف النهرى

الصدعى، *Faul trellis Pattern* (١) .

ومن أظهر هذا النوع من التصريف يتمثل على السفوح الجنوبية الشرقية لمرتفعات البنين *Pennines* (٢) . حيث تتكون المجارى النهرية هنا من مجارى نهرية رأسية تتمثل فى نهر دون *Don* ونهر شيف *Sheaf* ونهر رزر *Rother* وتصب فيها روافد عرضية تمتد من الغـرب إلى الشـرق وتلتقى مع الأنهار الرئيسة على شكل زوايـا قائمة ، وقد أثر فى تكوين هـذا النمط من التصريف النهرى ، تكوين المنطقة من صخور صلبة متعاقبة فوق أخرى لينة .

٣ - **التصريف النهرى المستطيل** *Rectangular Drainage* :

يشبه هذا النوع من التصريف النوع السابق الذكر (التصريف المشبك) فى أن الروافد الثانوية فى حوض النهر تلتقى بالمجرى الرئيسى بزوايا قائمة ، إلا أن العوامل التى شكلت وأدت إلى تكوين هذا النوع من التصريف تختلف عن النوع الآخر ، فتتشكل مجارى التصريف النهرى المستطيل بواسطة فتحات المفاصل والفوالق والصدوع التى توجد فى تكوينات الصخور التى تشقها هذه المجارى النهرية . ففى حالة حدوث فتحات الفوالق والصدوع فى مجموعتين مختلفتين يلتقيان بزوايا قائمة ، قد تؤدى هذه الحالة بدورها إلى تكوين التصريف النهرى المستطيل .

ومن بين أظهر أمثلة هذا النمط من التصريف ما يتمثل فى مجارى الأنهار الممتدة على طول ساحل النرويج وكذلك فى منطقة مرتفعات أدرونداك *Adirondack* بالولايات المتحدة . وإذا أدت أسطح الصدوع وفتحات

---

(1) Thornbury, W. D., "Principles of geomorphology" New York, Fourth Priniting (1958), 120 126.

(2) Abou-El-Enin, H S . "An exmination of surface forms in the Sheaf, Upper Don " Ph D Thesis, Univ of Sheffield. 1964

المفاصل إلى تكوين مجارى نهرية تلتقى مع بعضها البعض فى شكل زوايا حادة بدلا من زوايا قائمة فيطلق على مثل هذا النمط من التصريف اسم التصريف المائى المزوى (حاد الزوايا) *Angulate pattern* (شكل ١٠٠ ج) .

٤ - اتصريف النهري المشوش أو المختل *Deranged Pattern* :

على الرغم من أن معظم أنماط التصريف النهرى تتميز بأنها مركبة *Complex* خاصة فى المناطق التى تعرضت لظروف مناخية مختلفة وتأثرت بحركات تكتونية متنوعة وتتكون صخورها من طبقات جيولوجية مختلفة الصلابة والبنية ، إلا أن هناك نوعا آخر من التصريف لم يكتمل مظهره بعد تبعا لنشأته فى مدة قصيرة أو تحت ظروف مناخية معينة لم تمكنه من أن يتم مراحل نموه ، ويطلق على مثل هذا النمط من التصريف تعبير التصريف النهرى المشوش أو المختل [1] ومن بين أحسن أمثلة هذا النوع من التصريف ما يتمثل فى كل المناطق شبه الجليدية *Periglaciated Regions* لأن هذه المناطق الأخيرة تشكلت بظروف معينة من المناخ خلال النصف الأخير من عصر البلايوستوسين ولكن سرعان ما تغيرت هذه الظروف بانتهاء هذا العصر ، وعلى ذلك لم تتم دورة نمو التصريف النهرى فى هذه المناطق .

ويتميز هذا النمط من التصريف بعدم انتظام المجارى النهرية ، وتشكيل هذه المجارى بعديد من المنعطفات الكبرى الشاذة حيث كثيرا ما تتمثل المنعطفات الكبرى فى القسم الأعلى من حوض النهر وليست فى الأجزاء الدنيا منه ، وكثيرا ما يخترق المجرى النهرى مناطق واسعة تغطيها المستنقعات والبحيرات الضحلة التى ترجع نشأتها غالبا إلى فعل انصهار الجليد *Nivation processes* . ومن بين أمثلة هذا النوع من التصريف ، ذلك الذى يتمثل فى منطقة جالسبرج *Galesburg* جنوب غرب شيكاغو بولاية

---

(١) أطلق على هذا النوع من التصريف النهرى اسم «التصريف النهرى المقلقل» فى المصطلحات الجغرافية ـ المجلس الأعلى لرعاية الفنون والآداب والعلوم الاجتماعية ـ القاهرة ـ ١٩٦٥ .

الينوى *Illinois* بالولايات المتحدة الأمريكية (شكل ١٠٤ هـ) .

٥ - التصريف النهرى الشائك أو المسنن *Barbed Drainage* :

يتميز هذا النمط من التصريف النهرى فى الأجزاء العليا لبعض المجارى النهرية ، إلا أنه نادر الحدوث ، وتتصل الروافد بمجرى النهر الرئيسى على شكل زوايا حادة تتجه فتحاتها صوب أعالى النهر ، وترجع معظم نشأة أشكال التصريف النهرى الشائك أو المسنن إلى توالى عمليات الأسر النهرى ، وقد يرجع بعض منها كذلك إلى حدوث حركات رفع تكتونية بسيطة فى المنطقة أو إلى فعل التعرية الجليدية (شكل ١٠٤ ل) .

٦ - التصريف النهرى المركزى *Centriptal Pattern* :

ويطلق على هذا النمط من التصريف النهرى على تلك المجارى النهرية التى تتجه صوب منخفضات حوضية من عدة اتجاهات مختلفة . وعلى ذلك يتمثل هذا النوع من التصريف فى المجارى النهرية التى تنحدر على جوانب الفوهات البركانية أو الكالديرا وتتجه صوب بحيرة البركان ، كما يظهر هذا الشكل من التصريف فى الأحواض المنخفضة المتسعة فى مناطق الكارست الجيرية (شكل ١٠٤ و) .

٧ - التصريف النهرى المتشعع *Radial Pattern* :

ويعتبر هذا الشكل من التصريف صورة عكسية للنمط السابق الذكر (التصريف النهرى المركزى) حيث إنه يتألف من مجارى نهرية تنحدر من فوق قباب صخرية محدبة وتتجه من أعلى إلى أسفل صوب المنحدرات السفلى ، ومن ثم تظهر على شكل الأشعة الشمسية التى تشع فى كل الاتجاهات المختلفة . وتتمثل أشكال هذا النوع من التصريف فوق المناطق القبابية *Domes* . أو فوق أسطح المخروطات البركانية ، أو فوق التلال المستديرة الشكل . ومن بين أمثلة هذا النمط من التصريف ما تتمثل فى منطقة البحيرات «ليك» *Lake District* فى الجزر البريطانية . إلا أن معظم

المجارى النهرية فى هذه المنطقة الأخيرة تعد مجارى متشععة منطبعة ، بمعنى أنها تكونت فوق صخور قبابية عليا لينة ثم تآكلت هذه الصخور الأخيرة ولكن نجحت المجارى النهرية المتشععة فى أن تحتفظ بأشكال تصريفها فوق الصخور السفلية الصلبة (شكل ١٠٤ د) .

٨ - **التصريف النهرى المتوازى** *Parallel Pattern* :

يتكون هذا النوع من التصريف فى المناطق التى تتشكل انحداراتها بتكوينها من مقعرات طولية *Longitudinal Concavities* وموازيا لها محدبات طولية كذلك *Longitudinal Convexities* . وتساعد هذه الحالة على تكوين أنهار طولية تشق المقعرات السطحية وتمتد مجاريها موازية لبعضها البعض ، وتكاد تنفصل أوديتها بمسافات متساوية *Equal spacing* . كما قد يتكون هذا النوع من التصريف كذلك تبعا للظروف الصخرية والتكتونية التى قد تؤدى إلى تشكيل مجارى نهرية طولية متوازية الإمتداد. ومن بين أمثلة هذا النوع من التصريف مايتمثل فى إقليم «ميزافيرد» *Mesa Verd* فى منطقة ناشونال بارك *National Park* بولاية كلورادو بأمريكا الشمالية (شكل ١٠٤ م) .

انحدار المجارى المائية *Stream Slopes* :

خلال مرحلة النضج يكون انحدار مجرى النهر متوافقا مع التركيب الصخرى *adjusted to structure* ، ويكون انحدار المجرى قد وصل إلى مرحلة الثبات *state of equilibrium* أو ما يطلق عليه تعبير النهر المنحوت *graded stream* وفى هذه الحالة يظهر انحدار المجرى على شكل مقعر كبير . هذه العلاقة بين ارتفاع أجزاء مجرى النهر بالنسبة لمستوى المصب ، وطول المسافة الأفقية لهذه الأجزاء أو الروافد النهرية تحدد شكل انحدار القطاع الطولى للنهر . هذه الملاحظات جعلت الباحثون يفكرون فى ايجاد العلاقة بين شكل منحدرات المجارى النهرية بالنسبة لرتبة النهر .

ويعرف متوسط الانحدار لمجرى النهر (ح مـ) على أنه النسبة بين المسافة الرأسية (ع مـ) والمسافة الأفقية (ف مـ) مقاسة من أعالى النهر إلى أدنى نقطة له تقع فى نطاق رتبته . أى أن :

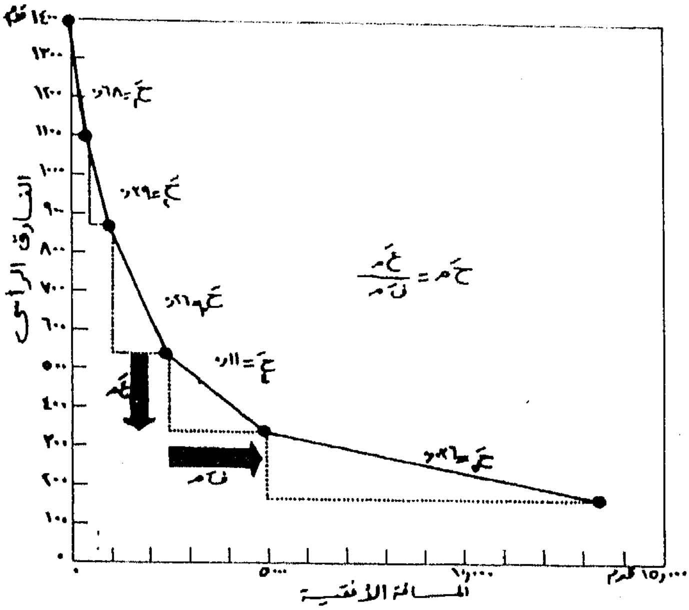
$$\text{ح مـ} = \frac{(\text{ع مـ})}{(\text{ف مـ})}$$

ويعبر عن الانحدار بواسطة نسبة ، فمثلا عند القول بأن نسبة الانحدار ١ : ١٠٠ أو ٠,٠١ فمعنى ذلك أن مجرى النهر ينحدر وحدة واحدة رأسيا لكل ١٠٠ من نفس هذه الوحدة أفقيا .

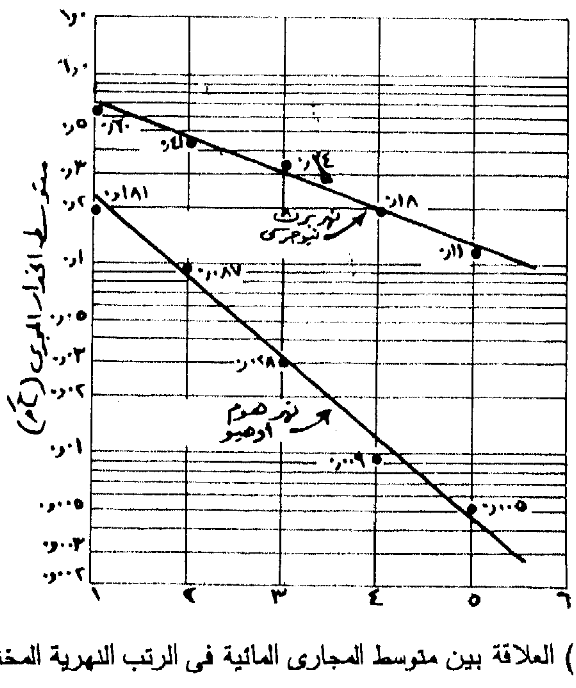
ويمكن تطبيقه كذلك عند ايجاد متوسط انحدار كل المجارى النهرية التى تتبع رتبة ما من رتب المجارى النهرية ولتكن الرتبة الأولى ح $_{١}$ مـ أو الرتبة الثانية ح $_{٢}$ مـ أو الرتبة الثالثة ح $_{٣}$ مـ وهكذا . حيث إن متوسط الانحدار لكل رتبة يساوى متوسط ارتفاع النهر فى هذه الرتبة مقسوما على متوسط طول النهر فى نفس هذه الرتبة .

ويظهر من دراسة شكل (١٠٥) أن الطول الرأسى لكل مثلث يمثل الارتفاع الرأسى (ع مـ) *Vertical drop* فى الرتبة النهرية ، أما البعد الأفقى (ف مـ) لكل مثلث فيمثل البعد الأفقى للمثلث *Horzinotal distance* أو لمجرى النهر فى هذه الرتبة . أما الوتر أو الضلع الثالث فى كل مثلث فإنه يمثل متوسط انحدار مجرى النهر فى كل رتبة *Average slope* ويعبر عنه بالرمز (ح مـ) . ويلاحظ أن انحدار مجرى النهر يظهر على شكل انحدار مقعر يميل إلى التفلطح كلما اقتربنا من منطقة مصب النهر .

ويمكن أن نعبر عن العلاقة بين متوسط انحدار المجارى النهرية (ح مـ) ، وبين رتبة النهر (مـ) باستخدام رسم بيانى لوغاريتمى يوضح انحدار مجرى النهر فى كل رتبة (شكل ١٠٦) وأنظر الجدول الآتى :



(شكل ١٠٥) تعيين متوسط انحدار المجارى المائية



(شكل ١٠٦) العلاقة بين متوسط المجارى المائية فى الرتب النهرية المختلفة

نهر هوم فى أوهايو			نهر برث - فى المناطق الوعرة بنيو جر سى		
رتبة النهر م	متوسط انحدار المجرى ح م	نسبة الانحدار ن س	رتبة النهر م	متوسط انحدار المجرى ح م	نسبة الانحدار ن س
١	١,١٨١		١	٠,٦٠	
٢	٠,٠٨٧	٠,٤٨	٢	٠,٤١	٠,٦٨
٣	٠,٠٢٨	٠,٣٢	٣	٠,٣٤	٠,٨٣
٤	٠,٠٠٩	٠,٣٢	٤	٠,١٨	٠,٥٣
٥	٠,٠٠٥	٠,٥٦	٥	٠,١١	٠,٦١

وتكاد تقع جميع النقط الخاصة بكل من نهر هوم *Home Creek* فى أوهايو ونهر برث *Perth* فى المناطق الوعرة ، بنيو جرسى على طول خط مستقيم ولكن هناك بعض الحيود البسيطة عن هذا الخط وخاصة فى حالة نهر برث . ونلاحظ أن موقع كل خط مستقيم فى الرسم البيانى اللوغاريتمى يختلف عن موقع الخط الآخر وكذلك يظهر الاختلاف فى درجة انحدار كل من هذين المجريين النهريين .

وبناء على ذلك توصل هورتون *Horton* إلى قانونه المعروف باسم قانون انحدار المجارى المائية *Law of stream slope* وينص هذا القانون (١) على أن «متوسط انحدار مجرى مائى فى الرتب النهرية التصاعدية فى حوض نهر ما تكون متوالية هندسية تناقصية تقل بنسبة انحدار ثابتة» .

ويعبر الأستاذ هورتون عن هذا القانون كميا فى الآتى :

(1) "The mean slopes of stream segments of successively higher orders in a given basin tend form an inverse geometric series decreasing accordirg to a constant slope ratio".

$$\text{ح}'_{\text{مـ}} = \text{ح}_{1}\,(\text{ن س})^{(\text{مـ} - 1)}$$

حيث إن :

ن س = تمثل تنسبة الانحدار وتساوى هذه النسبة كمياً فى الآتى :

$$\text{ن س} = \frac{\text{ح}'_{\text{مـ}}}{(\text{ح}'_{\text{مـ}} - 1)}$$

وتجدر الاشارة إلى أن نسبة الانحدار فى مجرى النهر لابد أن تكون قيمتها أقل من ١ . والقيم المتوسطية تتراوح من ٠,٣ إلى ٠,٦ وتختلف نسبة الانحدار من مجرى نهر إلى آخر وذلك يرجع لعوامل مختلفة من بينها خصائص التكوين الصخرى الذى يشقه النهر ، ومدى تماسك حبيباته ومقاومته لفعل التعرية النهرية ، ثم مرحلة نمو النهر .

انحدارات جانب الوادى النهرى *Valley - side slopes* :

ان انحدار المجارى المائية والانحدار العام لأرضية الأودية النهرية نحو المصب يساعدان سويا على جريان المياه فى مجرى النهر وانسيابها وانتقالها من أعالى المجرى إلى الأجزاء الدنيا منه . ومع جريان المياه تنقل الرواسب والمفتتات من المناطق العليا للنهر وتترسب على جوانب النهر فى قسمه الأوسط وفى القسم الأدنى منه . وتختلف درجة انحدار جوانب الأودية من وادى إلى آخر تبعا لتضرس المنطقة ومدى ارتفاعها ، وما إذا كانت تلك الأودية متكونة فى مناطق جبلية عالية ، أو فى مناطق سهلية ومحدودة المنسوب بالنسبة لمستوى سطح البحر .

وقد حاول الباحثون ايجاد علاقة بين انحدار جانب الوادى ونظام النهر . وتتطلب هذه الدراسة اجراء البحث الحقلى ومعرفة المزيد عن اختلاف درجات انحدار جانب الوادى النهرى وتوقيعها على الخرائط الطبوغرافية التفصيلية .

ويمكن قياس المنحدرات على جانبى الوادى النهرى بعمل فواصل على

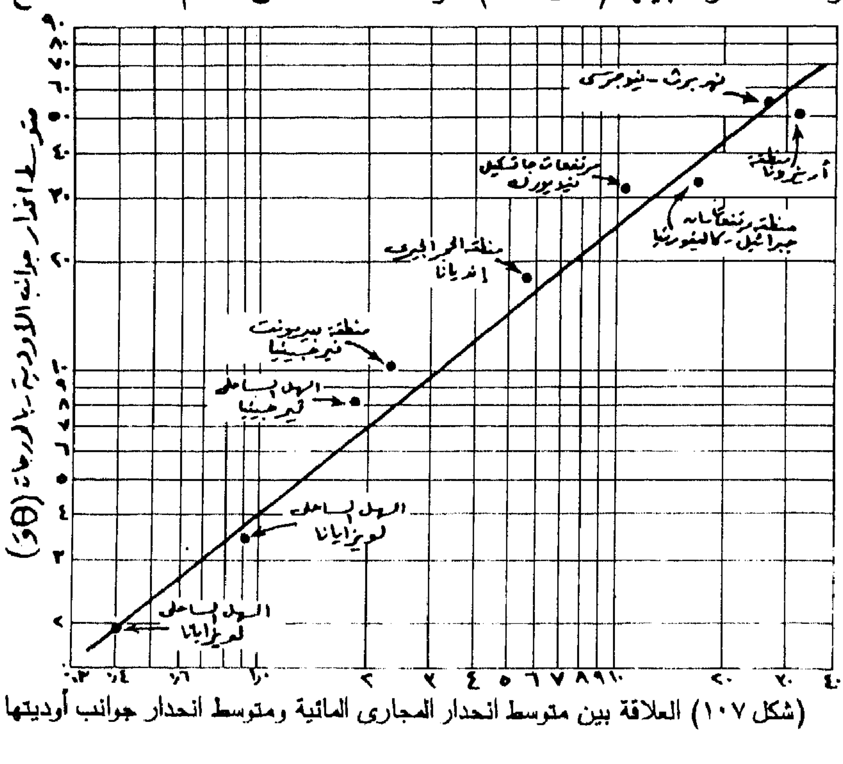
مسافات أفقية متساوية على الجانب النهرى ، ويقاس الانحدار اما باستخدام معادلة الانحدار السابقة ، أو باستخدام آلة قياس الانحدار *Abeny level* الذى تقيس الانحدار بالدرجات .

ويعبر الرمز (ح و) عن انحدار جانب الوادى *Valley - side slope*

والرمز (ح مـ) عن انحدار مجرى النهر *Channel slope*

وعند قياس هذه الانحدارات بالدرجات فيمكن أن نستخدم الرمز الاغريقى «ثيتا» θ ليرمز عن زاوية الانحدار بالدرجات . وعلى ذلك (θ و) ترمز لزاوية انحدار جانب الوادى . وأن (θ مـ) ترمز لزاوية انحدار مجرى النهر .

ويمكن أن نعبر عن العلاقة بين متوسط انحدار جانب الوادى النهرى ، ومتوسط انحدار مجرى النهر باستخدام الرسم البيانى اللوغاريتمى . وأن نستفيد بأخذ قراءات عديدة لمناطق مختلفة وتوضع جميعا فى رسم بيانى واحد للمقارنة بينها (شكل ١٠٧) . ونلاحظ كذلك أن معظم هذه النقط تقع



(شكل ١٠٧) العلاقة بين متوسط انحدار المجارى المائية ومتوسط انحدار جوانب أوديتها

على امتداد خـط مستقيم مع بعض الحيـود البسيطة نتيجة لظروف كل جانب نهرى . ويمكن التعبير عن هذه العلاقة بين انحدار جانب الوادى وانحدار مجراه كمياً فى المعادلة الاتية

$$\theta_{\text{و}} = \text{ث}\,(\theta_{\text{م}})^{(\text{ن})}$$

حيث إن :

ث = تمثل قيمة ثابتة ، قدرها ٠,٦ .

ن = أس ، ذو قيمة ثابتة قدرها ٠,٨ تقريبا .

وذلك لأن المعادلة مبنية على نتائج عملية تجريبية وليست على نظريات فرضية .

الفصل السادس عشر
المياه الجوفية ، مظاهرها وأثرها فى تشكيل سطح الأرض

لا يقتصر فعل المياه الجوفية على تشكيل جوف القشرة الأرضية فقط ، بل تساهم كذلك فى تكوين ظاهرات جيومورفولوجية متنوعة فوق سطحها . ويظهر فعل المياه الجوفية فى المناطق التى تتألف بوجه خاص من الصخور الجيرية والطباشيرية ، حيث تعمل هذه المياه على تكوين عدة ظاهرات متنوعة منها الحفر الضحلة ، والمغارات والمنخفضات ، هذا إلى جانب عملها فى تكوين ظاهرات أخرى تنشأ فى جوف القشرة الصخرية ومنها الكهوف بمظاهرها وأشكالها المختلفة ومجارى الأنهار الجوفية أو المفقودة *Lost Streams* وتنقسم المياه الجوفية وفقا لتنوع مصادرها وأماكن وجودها إلى الآتى :

١ - مياه جوفية عذبة ، وقد يتمثل مصدرها فى مياه الأمطار الساقطة أو مياه الثلوج المنصهرة ، وتعرف باسم «المياه الجوية أو الشهبية» *Meteoric Water* وذلك لإرتباط نشأتها بعوامل الجو والطقس . وتعتبر المياه الجوية المصدر الرئيسى للمياه الجوفية . وتتوقف عملية تسرب المياه الجوفية فى صخور القشرة الأرضية على عدة عوامل من بينها :

أ - درجة مسامية الصخر ، فإذا كان الصخر منفذا للمياه وتكثر به الفراغات المتسعة بين حبيباته يساعد ذلك على تسرب المياه فيه ، ويساعد على تجمع المياه الجوفية فى هذه الطبقة الصخرية إذا كانت الأخيرة ترتكز فوق طبقة صخرية أخرى غير منفذة للمياه .

ب - مدى تأثر الصخر بالشقوق والمفاصل والفوالق .

جـ - ميل الطبقات الصخرية .

٣ – مياه جوفية عذبة أو معدنية ، وهذه تختزن فى الطبقات الصخرية المسامية تبعا لتجمع بعض المياه الساخنة المنبثقة أثناء حدوث الثورانات البركانية ، وتعرف باسم «مياه الصهير» *Magmatic Water* .

٣ – مياه جوفية مالحة ، وهى التى قد تتسرب من البحار والمحيطات إلى اليابس المجاور تبعا لميل الطبقات الصخرية فى عكس اتجاه انحدار الشاطئ . وتعرف باسم «المياه المحيطية» *Oceanic Water* .

٤ – مياه جوفية عذبة أو مالحة : وهذه قد ترجع نشأتها إلى اختزانها فى الصخور الرسوبية أثناء عمليات تكوين الصخور نفسها ، وساعدت بعض الظروف على انحباسها فى جوف الصخور حتى الوقت الحاضر . ومثل هذه المياه الجوفية نادرة التكوين وتعرف باسم المياه المتخلفة *Connate Water* .

٥ – مياه جوفية عذبة قد تتسرب من مياه المجارى النهرية عندما تشق الأخيرة صخورا مرتفعة المسامية ومنفذة للمياه ، كما هو الحال بالنسبة للمياه الجوفية التى تتسرب من مجرى النيل إلى منخفض وادى النطرون خلال وقت الفيضان .

وعلى الرغم من أن هناك بعض الطبقات الصخرية تتميز بأنها عالية المسامية إلا أنها قد تكون فى نفس الوقت غير حاوية للمياه الجوفية ، وذلك يرجع إلى عدم انحباس الأخيرة بواسطة صخور صماء غير مسامية تعمل على ايقاف رحلة المياه إلى جوف قشرة الأرض أبعد من العمق الذى وصلت إليه . وعندما تتجمع المياه الجوفية فى باطن قشرة الأرض عند منسوب دائم لا تنخفض عنه فيعرف هذا المنسوب بمستوى الماء الجوفى *Underground Water Table* . ويختلف عمق مستوى الماء الجوفى من مكان إلى آخر حيث إنه فى المناطق الغزيرة الأمطار وتلك المجاورة للبحار قد يكون قريبا من سطح الأرض ، أما فى المناطق الجافة فغالبا ما يكون مستوى الماء الباطنى على أعماق بعيدة من سطح الأرض . ويتميز مستوى المياه الجوفية بأنه ليس

ثابتا ، بل تختلف أعماقه من موقع إلى آخر كما يختلف هذا المستوى فى المنطقة الواحدة من فصل إلى آخر . فإذا كان مصدر المياه الجوفية يتمثل فى مياه الأنهار السحطية ، فغالبا ما يرتفع منسوبها وقت فيضان هذه الأنهار ثم ينخفض منسوبها ثانية إبان التحاريق . أما إذا كان مصدر المياه الجوفية هو مياه الأمطار ففى هذه الحالة يرتفع منسوب المياه الجوفية خلال فصل سقوط الأمطار وينخفض ثانية خلال فصل الجفاف . وتبعا لاختلاف مدى تشبع الطبقات الصخرية بالمياه الجوفية يمكن أن نميز ثلاث طبقات مختلفة هى :

(أ) طبقة غير حاوية للمياه الجوفية : هى عبارة عن الطبقات الصخرية العديمة التشبع *Layer of Non - Saturation* وقد تكون هذه الطبقة غير مسامية لا تسمح بتسرب المياه فى جوفها أو قد تكون عالية المسامية إلا أنه تبعا لانفاذها للمياه من جهة ووقوعها عند أعالى الطبقات الصخرية من جهة أخرى تساعد على تسرب المياه خلال جزيئاتها دون أن تختزن المياه فيها ، حيث تستمر المياه الجوفية فى رحلتها صوب الأ عماق البعيدة فى جوف صخور قشرة الأرض .

(ب) طبقة متقطعة التشبع : *Layer of Intermittent Saturation* وقد تقع هذه الطبقة أسفل الطبقة الصخرية السابقة ، وتنحصر بين أعلى منسوب يصل إليه مستوى المياه الجوفية عقب فترات ازدياد حجم المياه ، وأدنى منسوب يهبط إليه عندما تقل كمية المياه فى جوف الصخر .

(جـ) طبقة دائمة التشبع *Layer of Permanent Saturation* وهى عبارة عن خزان طبيعى للمياه الجوفية *Aquifer* تتجمع فيه المياه بعد رحلتها الطويلة خلال الطبقات ، وتستقر فى هذا الخزان خاصة إذا كان قاعه يتألف من طبقة صخرية صماء تمنع تسرب المياه إلى الطبقات الأخرى السفلية .

ولا يتحتم أن تتمثل هذه الطبقات الصخرية الثلاث السابقة فى كل حالة ، بل إذا كان مستوى المياه الجوفية قريبا من السطح ، (كما هو غالبا فى

المنخفضات ومناطق السبخات) فقد لا تظهر الطبقة العليا غير الحاوية للمياه ، وتتمثل الطبقتان الأخيرتان . وفى بعض الأحيان تظهر الطبقة الدائمة التشبع على السطح مباشرة ، ومن ثم قد يتميز هذا السطح بظهوره على شكل مستنقعات واسعة .

وتختلف كمية المياه التى يمكن أن تحتويها الطبقات الصخرية اختلافا كبيرا بين كل طبقة صخرية وأخرى تبعا لاختلاف مسامية الطبقات وكمية المياه المتسربة إليها . وتعد أعلى الصخور مسامية هى تلك الطبقات الرملية أو الحصوية المخلخلة والمفككة ، حيث تكثر فيها الفجوات والفراغات الصخرية *Interstices* . وكلما كانت الطبقات مكونة من حبيبات صخرية مختلفة الحجم والشكل زاد اتساع الفجوات فى الصخور . أما التكوينات المتجانسة *Homogenous* التى قد تتألف من المواد الطينية أو الصلصالية فقط فهذه تكون عادة متماسكة ، ولا تسمح للمياه بأن تنساب فى جوفها . وفى الصخور النارية والمتحولة التى تتميز بشدة تماسك أجزائها فهذه لا تسمح بتسرب المياه فى ثناياها اللهم إلا إذا كانت شديدة التأثر بفعل الشقوق والفوالق التى تساعد على تسرب المياه الجوفية خلال فتحاتها . وقد يختزن فى تكوينات اللافا التى تكثر بها الشقوق والفجوات *Cavities* كميات كبيرة من المياه الجوفية .

مظاهر المياه الجوفية

على الرغم من انسياب المياه الجوفية إلى أعماق بعيدة فى جوف صخور قشرة الأرض بصور مختلفة إلا أنه قد يساعد على ظهورها فوق سطح الأرض، حركتها الدائمة فى جوف الصخور ، والتى ينجم عنها كذلك تشكيل كل من جوف قشرة الأرض وسطحها بظاهرات جيومورفولوجية متباينة . ومن بين أهم المظاهر أو الصور التى تبدو بها المياه الجوفية على سطح الأرض ما يلى :

(أ) المجارى المفقودة *Lost Streams* التى قد تظهر بعض أجزاء منها فوق السطح ثم تختفى بعض أجزائها الأخرى فى باطن الصخور .

(ب) الآبار الارتوازية *Artesian Wells* . (وهى من صنع الإنسان)
(جـ) الينابيع *Springs* .
(د) النافورات والينابيع الحارة *Geysers and Hot Sprimg* .

وفى هذا الموضوع سنشير إلى كل هذه النقاط فيما عدا الحديث عن المجارى النهرية المفقودة التى ستدرس عند مناقشة أثر فعل المياه الجوفية فى تشكيل بعض الظاهرات الجيومورفولوجية فى أقاليم الكارست الجيرية .

أولا : الآبار الارتوازية :

يقصد بالابار الارتوازية (١) تلك الابار العميقة التى يحفرها الإنسان فى الصخور للوصول إلى المستوى الدائم للمياه الجوفية ، ومن ثم تندفع المياه من أسفل إلى أعلى طبيعيا (بواسطة قوة الضغط الهيدروستاتيكى ـ نظرية الأوانى المستطرقة) إلى أن تظهر فوق السطح . وعلى الرغم من أن الابار هى من صنع الانسان إلا أن وجودها يرتبط عادة بالمياه الجوفية التى تتجمع فى خزانات الثنيات الصخرية المقعرة من ناحية ، كما أنها تعتبر مظهراً من مظاهر صور المياه الجوفية ساعد الإنسان فى ظهورها على سطح الأرض من ناحية أخرى .

ويختلف عمق البئر الارتوازى من مكان إلى آخر تبعا لعدة عوامل أهمها :
(أ) شكل السطح وطبيعة تضرسه .
(ب) ميل الطبقات الصخرية الحاوية للمياه .
(جـ) بعد الطبقة الحاوية للمياه الجوفية عن السطح .

وعلى ذلك فقد يبلغ عمق بعض هذه الآبار نحو ٢٠٠ قدم تحت سطح الأرض ، بينما يزيد عمقها فى بعضها الآخر عن ١٠٠٠ قدم . وقد تنبثق المياه الجوفية من البئر الارتوازى خلال فترات متقطعة أو قد تكون دائمة

---

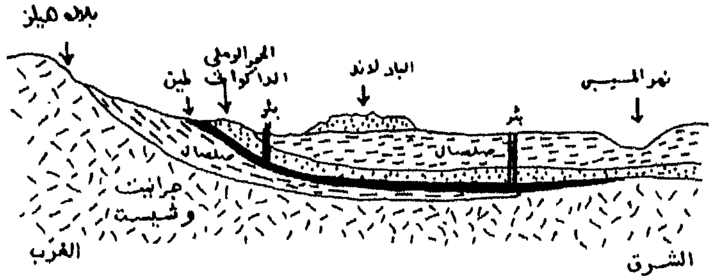
(١) اكتسب هذه المجموعة من الابار تسميتها تبعا لاقليم أرتوا فى شمال فرنسا .

الانبثاق تبعا لبعض الظروف المحلية . فإذا كانت مثلا قمة أو فوهة البئر منخفضة عن منسوب مصادر المياه الجوفية ، فيتميز البئر في هذه الحالة بأن مياهه دائمة الانبثاق *Constant Flow* . ومن بين أظهر مناطق الآبار الارتوازية في العالم تلك التي تتمثل في حوض لندن وحوض باريس وأحواض السهول الوسطى في الولايات المتحدة الأمريكية وأحواض وسط استراليا ، وسنتحدث عن أحد هذه الأحواض كمثال تطبيقي .

الابار الارتوازية في السهول الوسطى بالولايات المتحدة الأمريكية :

من المناطق المهمة للآبار الارتوازية في الولايات المتحدة الأميريكة تلك التي تتمثل في الأحواض المقعرة والتي تشغل مساحات واسعة من السهول العظمى الوسطى المحصورة بين سهول البراري في الشرق ومرتفعات الروكي في الغرب . ويتألف العمود الجيولوجي لتكوينات هذه المنطقة من أعلى إلى أسفل من صخور صلصالية رملية يبلغ سمكها نحو ٢٠٠٠ قدم ، وتقع تحتها طبقة رقيقة نسبيا من الحجر الرملي المعروف باسم «الحجر الرملي الداكوتي» *Dakota Sandstones* ويبلغ متوسط سمكها نحو ١٠٠ قدم . وترتكز هذه الصخور فوق طبقات سمكية من الصلصال الذي يقع بدوره فوق صخور من الجرانيت والشيست . وتبدو كل هذه الطبقات الصخرية على شكل ثنية صخرية مقعرة تشغل منطقة واسعة من أواسط حوض المسيسبي ـ الميسوري . وعندما تسقط الأمطار فوق مرتفعات الروكي بالاضافة إلى انصهار الجليد المتراكم فوق القمم العليا منها ، تتسرب المياه في الطبقات الرملية المسامية وتتجمع فيها تبعا لانحصارها بواسطة الصخور الصلصالية السميكة السفلى . وعلى ذلك تعد طبقة الحجر الرملي الداكوتي طبقة دائمة التشبع بالمياه الجوفية أو بمعنى آخر خزانا طبيعيا للمياه الجوفية (شكل ١٠٨) .

ويبلغ متوسط عمق آبار هذا الإقليم نحو ١٠٠٠ قدم ، وتعد مياهها ذات أهمية بالغة لخدمة الأعمال الزراعية وذلك يرجع إلى قلة كمية الأمطار الساقطة فوق السهول الوسطى . وتعتبر مياه هذه الخزانات الجوفية من بين



(شكل ١٠٨) الآبار الارتوازية فى السهول الوسطى بالولايات المتحدة الأمريكية

أهم مصادر مياه الشرب لكل من ولايات داكوتا الشمالية وداكوتا الجنوبية ومنسوتا *Minnesota* ونبراسكا ، وكانسس *Cansas* وكلورادو *Colorao* .

ثانيا : الينابيع

تتكون الينابيع عندما تنبثق المياه الجوفية من الطبقات الحاوية للمياه أو من خزاناتها الجوفية انبثاقا طبيعيا دون أن يكون للانسان أى أثر فى ذلك . وقد تتركب مياه الينابيع من مياه معدنية خاصة إذا تجمعت فوق تكوينات صخرية من السهل إذابة بعض تكويناتها المعدنية . وتعمل المياه الجوفية خلال رحلتها الطويلة فى باطن القشرة الأرضية على إذابة كثير من معادن الصخور ، ومن ثم ترتفع نسبة المعادن فى المياه كما ترتفع فيها كذلك نسبة الكالسيوم وتصبح مياه جيرية عسرة .

العوامل التى تساعد على نشأة الينابيع :

يساعد تكوين الينابيع وظهورها فوق سطح الأرض عدة عوامل مختلفة تتلخص أهمها فيما يلى :

١ – اذا تسربت المياه إلى جوف صخور قشرة الأرض وتجمعت فى خزانات المياه الجوفية البعيدة عن السطح قد يصعب انبثاقها ثانية إلى سطح

الأرض وخاصة إذا كان سطح المنطقة مستويا غير مضرس . وعلى ذلك إذا حفرت آبار للحصول على المياه فتتميز بكونها آبارا عميقة . ولكن فى المناطق التلالية أو الجبلية قد تتقطع فيها الطبقة الحاملة للمياه على السطح ، وعند منطقة التقاء أسطح جانبى الوادى بالطبقة الحاملة للمياه تظهر الينابيع *Springs* . وتساهم الخوانق النهرية المتعمقة التى تقطع الطبقات الحاملة للمياه الجوفية على ظهور الينابيع . ففى بعض أجزاء من خانق كلورادو العظيم تتقاطع حوائط الخانق مع طبقات من اللافا الحاملة للمياه الجوفية وينجم عن ذلك ظهور الينابيع على جانبى الخانق النهرى وتلاحظ مثل هذه الحالة فى بعض أجزاء من جانبى وادى نهر سنيك *Snake* فى شمال غرب الولايات المتحدة الأمريكية .

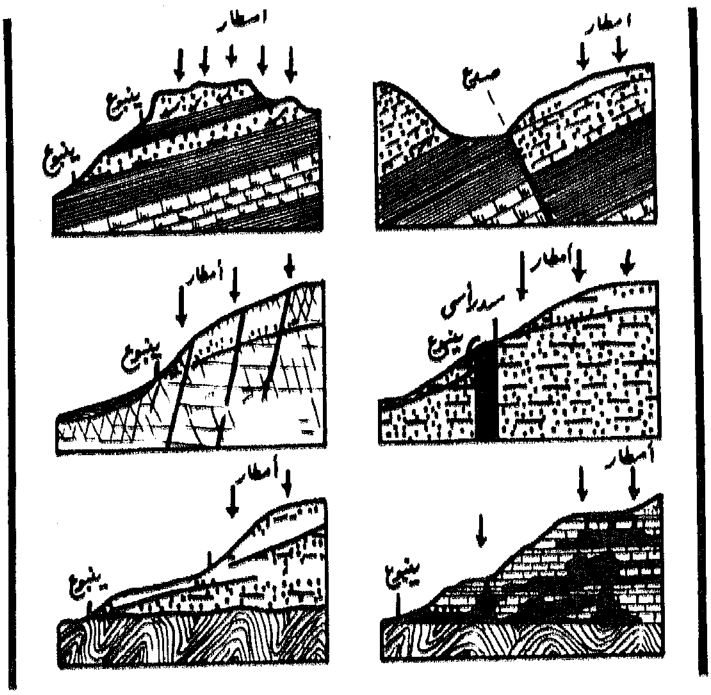
٢ - على الرغم من أن المجارى الجوفية *Subterranean Rivers* تشق مسالكها عادة فى جوف صخور قشرة الأرض إلا أنها قد تظهر فوق سطح الأرض فى بعض المواقع على شكل ينابيع تبعا لشكل تضاريس السطح . وتحدث هذه الظاهرة عندما ينخفض مستوى المجرى الجوفى كما هو الحال فى بعض ينابيع منطقة كهف ماموث *Mammoth Cave Region* بالولايات المتحدة الأمريكية .

٣ - ومن بين العوامل المهمة التى تساعد على ظهور الينابيع ميل الطبقات الصخرية . فإذا كان التكوين الصخرى يتألف من طبقات سمكية مسامية متعاقبة فوق طبقات أخرى صلصالية أو طينية غير مسامية ، وتميل الطبقات بشدة بحيث تكوّن حافات صخرية فى اتجاه ميل الطبقات *Dip Slope Bluff* (شكل ١٠٩) فإن هذه الحالة تساعد على ظهور ينابيع قوية تنبثق من تحت أقدام الحافات الصخرية .

ومن بين أمثلة هذه المجموعة من الينابيع تلك التى تظهر عند المقدمات الجبلية فى شمال ايطاليا ، والينابيع التى تميز حواف هضبة البديمنت فى جنوب كاليفورنيا .

٤ - تعتبر كل من الصدوع والشقوق والفوالق من العوامل المساعدة على ظهور الينابيع ، فعند حدوث الصدوع في صخور ما ، تتميز طبقاتها باحتوائها على كميات كبيرة من المياه الجوفية ، وقد تصبح كل من الطبقات المسامية وغير المسامية في مستوى واحد بعد أن كانت متعاقبة فوق بعضها البعض . وتعمل الطبقة الصماء غير المسامية في هذه الحالة على حجز المياه الجوفية ، ورفع منسوبها ثم تدفقها إلى السطح على طول أسطح الصدوع وقد تبدو على شكل ينابيع قوية دائمة الانبثاق (شكل ١٠٩) .

ومن بين أمثلة هذه المجموعة من الينابيع تلك التي تنتشر في منطقة نيويورك *New York* ، وبعض الينابيع التي تشغل كلا من الحواف الهامشية لهضاب تكساس ، وأجزاء متفرقة من ولاية كاليفورنيا ، وفي بعض الطبقات الصخرية الصدعية لولايتي نيفادا *Nevada* ويوتاه *Utah* .



(شكل ١٠٩) بعض العوامل التي تساعد على تكوين الينابيع

٥ - وقد تظهر الينابيع عندما يعترض الطبقات الحاملة للمياه الجوفية سد رأسى تعارضى *Dyke* يعمل على حجز المياه ورفع منسوبها ، ويكون فى هذه الحالة خزانا طبيعيا للمياه الجوفية حيث تتدفق المياه إلى السطح تدفقا طبيعيا (شكل ١٠٩) .

وتنبثق مياه الينابيع إلى السطح غالبا من أعماق بعيدة ، ولهذا قد تحتوى مياهها فى بعض المناطق على نسبة كبيرة من المواد المعدنية أو الكبريتية وذلك حسب ظروف انسياب المياه وانحداراتها الهيدروليكية خلال الطبقات المختلفة . وتعمل الينابيع على تآكل الأجزاء اللينة من الصخر وقد تشق لنفسها بعض المجارى النهرية الضحلة فوق سطح الأرض . ويزداد امتداد هذه المجارى تبعا لتوالى عمليات تراجعها الخلفى بمساعدة المياه المنبثقة من الينابيع ، ويطلق الباحثون على عملية انسياب مياه الينابيع فى الصخر تعبير *Spring Sapping* .

وللينابيع أهمية اقتصادية بالنسبة لكثير من دول العالم ومن بينها الجمهورية اللبنانية ، فمياه الينابيع فى هذه الدولة تعد المصدر الثانى للموارد المائية (بعد الأمطار) خلال فصل الشتاء ، والمصدر الرئيسى للمياه فى لبنان خلال فصل الصيف . وعندما تنساب مياه الأمطار والمياه المذابة من الثلج المتراكم فوق القمم الجبلية العالية فى لبنان ، فى داخل الصخور الجيرية (الجوراسية والكريتاسية) العالية السمك والمسامية ، سرعان ما تتجمع هذه المياه داخل خزانات جوفية كبرى ، ثم تظهر من جديد فوق سطح الأرض على شكل عيون وينابيع مائية . ويعزى الجريان الدائم للأنهار الكبرى فى لبنان إلى موردها المائى الدائم من مياه الينابيع والعيون التى تغذيها . ويتوقف حجم مياه المجارى النهرية وسرعة تياراتها ، ومدى تدفق المياه فيها تبعا لحجم المياه المنصرفة من الينابيع التى تغذى المجارى النهرية التابعة لها .

ثالثا : النافورات والينابيع الحارة

Geysers and Hot springs

يتبين مما سبق أنه كلما كانت المياه الجوفية آتية من أعماق بعيدة ترتفع درجة حرارتها ، ويرجع ذلك إلى ارتفاع درجة حرارة باطن الأرض فى الأعماق البعيدة عن السطح . ومن ثم أصبح جليا أن مياه الينابيع قد تتجمع تحت أعماق بعيدة . وتوثر هذه المياه الساخنة تبعا لحركتها من مكان إلى آخر فى تحلل بعض معادن صخور قشرة الأرض ، ويرجع ذلك إلى أن الماء الساخن أشد قدرة من الماء البارد على اذابة المواد المعدنية التى تتألف منها الصخور من ناحية كما وأن غاز ثانى أكسيد الكربون الذى تكتسبه المياه الجوفية عادة من الغازات فى باطن الأرض له قدرة كبيرة على إذابة المواد المعدنية من ناحية أخرى . وقبل الحديث عن الظواهر الإرسابية التى قد تنجم عن فعل الينابيع الحارة وأثرها فى تشكيل بعض ظاهرات سطح الأرض ، يحسن الاشارة كذلك إلى مصادر مياه الينابيع الحارة ، وأسباب ارتفاع درجة حرارة هذه المياه .

أ - مصادر مياه الينابيع الحارة :

يمكن القول أن المصدر الرئيسى لمياه الينابيع الحارة هو مياه الأمطار والتى تعرف باسم «المياه الجوية *Meteroic Water*» . وتتسرب هذه المياه إلى أعماق بعيدة فى باطن قشرة الأرض ، وتعمل خلال رحلتها الطويلة على اذابة بعض معادن الصخور وتحللها ويساعد عملية ذوبان المعادن الصخرية ارتفاع درجة حرارة المياه فى هذه الأعماق البعيدة . أما المصدر الثانى لمياه الينابيع الحارة فيتمثل فى المياه اللافية أو مياه الصهير *Magmatic Water* المخزونة فى طبقات اللافا نفسها . وقد تحتوى هذه المياه على بعض المعادن النادرة مثل الارسنيك *Arsenic* والبورن *Boron* . وتعتبر نافورة كاتماى فى ألسكا *Kutmai of Alaska* من النافورات الحارة التى تستمد مياهها من مياه الصهير المخزونة فى طبقات اللافا وتبلغ درجة حرارة مياهها نحو ٦٥٠° ف .

ويتبع هذه المجموعة من النافورات والينابيع الحارة كذلك ، تلك التى تظهر فى جنوب ولاية ايداهوا *Idaho* بالولايات المتحدة الأمريكية .

وتجدر الاشارة إلى أن الينابيع والنافورات الحارة التى تستمد مياهها من الأمطار ، يتذبذب مستوى الماء الجوفى فيها ، ويختلف مدى انبثاق المياه فى عمود أو قصبة النافورة إلى السطح تبعا لتذبذب كمية الأمطار الساقطة أو تبعا لفصل سقوط الأمطار طالما كان منسوب فوهة النافورة أقل ارتفاعا من مصدر المياه الجوفية ، ففى هذه الحالة يكون صعود المياه من قصبة النافورة دائم الانبثاق (١) .

ب - أسباب ارتفاع درجة حرارة مياه الينابيع الحارة :

على الرغم من أن مصادر مياه بعض الينابيع الحارة ترجع إلى «المياه الجوية» الباردة الا أنه تبعا لتغلغلها وتسربها إلى أعماق بعيدة فى جوف صخور قشرة الأرض ، أو عند تجمعها فوق صخور نارية ساخنة ترتفع درجة حرارتها و قد تتميز كذلك بارتفاع نسبة الرواسب الكبريتية والمعدنية الذائبة فيها . وعلى سبيل المثال ترتفع درجة حرارة مياه كل من نافورة يللوستون بارك *Yellow - stone Park* إلى نحو ٢٢٠° ف ومياه نافورة أولد فايثفول *Old Faithful* إلى نحو ٢٠٠° ف ، وتبلغ درجة حرارة ينابيع كهف ماموث *Mammoth Hot Springs* نحو ١٧٠° ف (لوحة ٤٦ أ) .

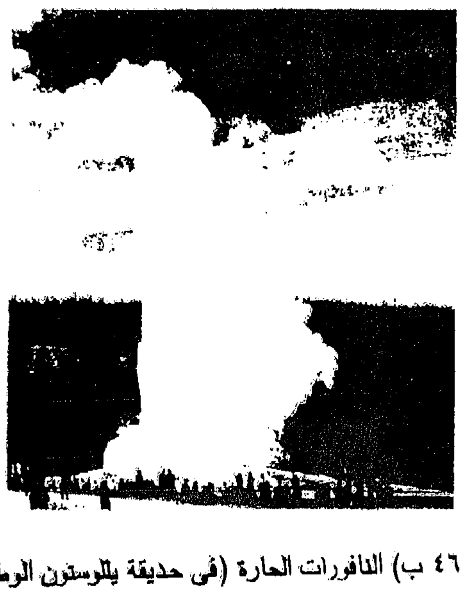
ويعتبر عامل التيارات التصاعدية من أ هم العوامل التى تؤثر فى تنظيم درجة حرارة مياه الينابيع . وقد أجريت عدة أبحاث تختص بدراسة أسباب ارتفاع حرارة مياه الينابيع الحارة . وأوضحت نتائج هذه الدراسات أن مياه نافورة «يللوستون بارك» فى الولايات المتحدة الأمريكية تكتسب حرارتها المرتفعة تبعا لانثباقها من أعماق تتراوح فيما بين ٣٥٠٠ إلى ٩٠٠٠ قدم

---

(١) حسن أبو العينين «كوكب الأرض - ظواهره التضاريسية الكبرى» الطبعة العاشرة - الاسكندرية - ١٩٨٨ .



(لوحة ٤٦ أ) النافورات الحارة فى جزيرة إيسلند بالولايات المتحدة الأمريكية



(لوحة ٤٦ ب) النافورات الحارة (فى حديقة يللوستون الوطنية)

تحت سطح الأرض ، وقد تبين كذلك أن بعض المياه الجوفية قد تنساب إلى أعماق بعيدة فى جوف قشرة الأرض خلال فتحات الشقوق الكبرى (قد يبلغ طولها عدة آلاف من الأقدام) ، وبالتالى ترتفع درجة حرارة هذه المياه لمرورها على الصخور الساخنة ، وتندفع هذه المياه الجوفية إلى أعلى فتحات الشقوق بواسطة الضغط الهيدوروستاتيكى *Hydrostatic Prèssure* أو بواسطة الضغط الناتج عن الغازات تبعا لبعض التفاعلات الكيميائية *Chemical Reaction* . واذا كان انبثاق المياه الجوفية خلال قصبة النافورة يظهر بشدة وباستمرار ، فقد ينجم عن ذلك تكوين بحيرات صغيرة المساحة تتميز بارتفاع درجة حرارة مياهها *Hot Pools* .

رواسب النافورات والينابيع الحارة :

تنبثق مع مياه النافورات والينابيع الحارة كمية كبيرة من الغازات كما تحتوى المياه نفسها على نسبة كبيرة من المعادن الذائبة وغير الذائبة . فإذا تغلغلت المياه الجوفية فى كتل صخرية من الريوليت أو فى صخور نارية سليكية ، فقد تزداد فى هذه الحالة نسبة السليكا فى المياه الجوفية ، كما يحدث ذلك فى منطقة «يللوستون بارك» *Yellowstone Park Region* التى ترتفع فى مياه ينابيعها الحارة نسبة كبيرة من السليكا . أما اذا تغلغلت المياه الجوفية فى طبقات من الحجر الجيرى ، كما هو الحال فى منطقة ينابيع ماموث الحارة *Mammoth Spring Area* فتزداد نسبة كربونات الكالسيوم الذائبة فى المياه .

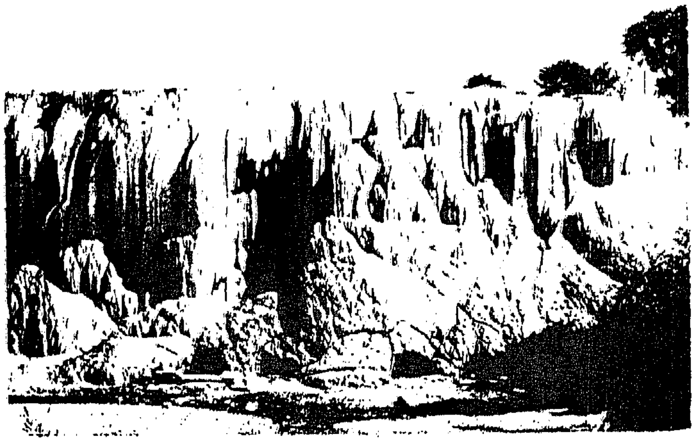
وعند انبثاق المياه إلى سطح الأرض ، يتعرض بعضها للتبخر وبعضها الآخر يبرد بالتدريج أو ينساب على شكل نهيرات صغيرة أو يتسرب ثانية إلى جوف الصخر ، وعلى ذلك تتجمع المواد المعدنية المختلفة وينجم عنها ظواهر جيومورفولوجية ارسابية ثانوية تشكل مناطق النافورات والينابيع الحارة . فقد تتجمع السليكات حول فوهات النافورات والينابيع الحارة على شكل مداخن أو ومخروطات ارسابية *Geysers Cones* يتراوح ارتفاعها من ٥ إلى١٥ قدما

فوق سطح الأرض المجاورة . وقد تكون بعض الينابيع الكبرى مجموعات هائلة الحجم من المدرجات الارسابية *Terraces* كما هو الحال بالنسبة لينابيع ماموث الحارة فى ولاية كنتكى بالولايات المتحدة الأمريكية حيث أدت الرواسب الهائلة إلى تكوين مدرجات ارسابية تقع حول فوهة النافورة تتألف أساسا من الترافيرتين كربونات الكالسيوم (لوحة ٤٦ أ) . وعندما تتجمع المياه المنبثقة من النافورات والينابيع الحارة إلى السطح وتتجمع فى بحيرات صغيرة من مياه ساخنة *Hot Pools* أو فى أحواض مغلقة ، فكثيرا ما يحيط هذه المسطحات اطارات من الرواسب المختلفة .

وأثناء زيارة الباحث للجمهورية الجزائرية ودراسته الحقلية لمنطقة قسنطينة وضواحيها فى عام ١٩٧٧ ، تبين أن منطقة غالمة بجوار مدينة بجايا (والتى تقع شمال غرب قسنطينة بنحو ٣٥ كم) ، ذات التكوينات الجيرية الكريتاسية تعد من المناطق النموذجية للتعرية الكارستية . وفى هذه المنطقة تتجمع المياه الجوفية فى خزانات مائية جوفية ساخنة وعند ارتفاع درجة حرارة المياه تندفع المياه والأبخرة إلى أعلى بفعل الضغط الهيدروستاتيكى وتظهر على السطح على شكل مداخن حارة *Hot Smooker* . وقد أستغلت هذه المداخن الطبيعية فى اقامة مراكز سياحية للعلاج الطبيعى . ونتيجة لتجمع رواسب الترافيرتين وكربونات الكالسيوم المتدفقة من الينابيع الحارة فى منطقة غالمة (بعد تبخر المياه عند السطح) تتكون تلال جيرية منعزلة بأشكال ومظاهر مختلفة يطلق عليها العامة اسم «تلال المسخوطين (لوحة ٤٦ ب) وقد شاهد الباحث فى منطقة غالمة كذلك بحيرات ساخنة *Hot pools* تستمد مياهها من إنبثاق الينابيع الحارة ويتراكم حولها ارسابات غطائية جيرية تبدو على شكل مدرجات متعاقبة اطلق عليها العامة اسم شلالات حمام المسخوطين (لوحة ٤٦ جـ ولوحة ٤٦ د) .

أنواع النافورات الحارة ومظاهرها العامة :

يمكن تصنيف النافورات الحارة تبعا لاختلاف نظام انبثاق المياه منها إلى



(٤٦ جـ) شلالات حمام المسخوطين- بجايا- (غالمة - الجزائر)



(٤٦د)
شلالات حمام المسخوطين (غالمة - الجزائر)



(٤٦ هـ)
تلال المسخوطين (غالمة - الجزائر)

مجموعتين رئيسيتين هما :

أ - مجموعة تخرج أو تنبثق منها المياه فى أوقات مختلفة *Intermittent or Spasmodic Geyser* ومن أنواعها نافورة «أولد فيثفول» *Old Faithful* (شكل ١١٠) .

ب - مجموعة تخرج أو تنبثق منها المياه باستمرار *Flowing Geysers* ومن أنواعها نافورة «يللوستون بارك *Yellowstone Park* » .

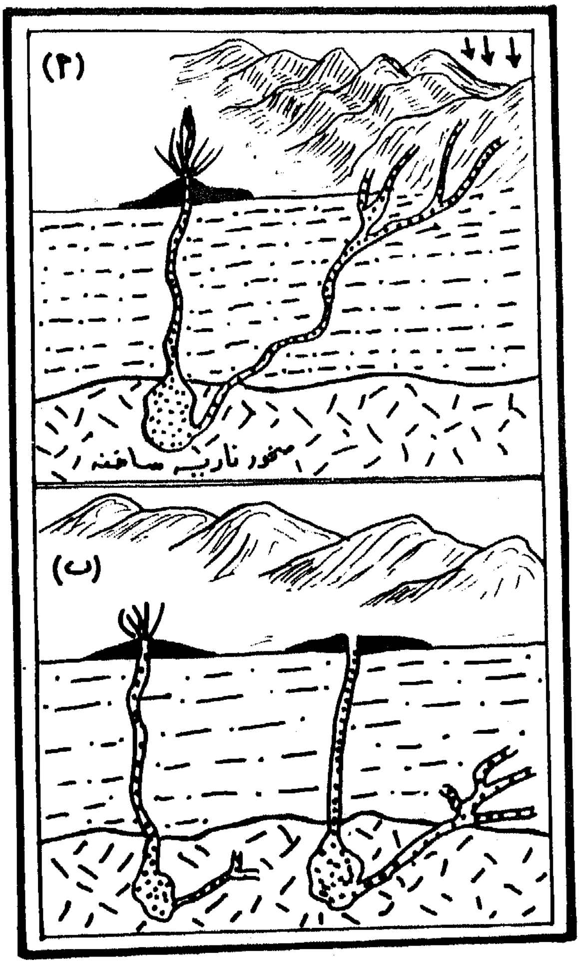
وعند انخفاض حجم المياه الجوفية فى خزان النافورة قد تتحول المياه إلى غاز بفعل التسخين الشديد وتظهر على سطح الأرض على شكل مداخن حارة ، كما هو الحال فى منطقة غالمة - بجايا - الواقعة شمال غرب قسنطينه فى الجمهورية الجزائرية .

وأهم العوامل التى تؤثر فى انبثاق المياه الجوفية من النافورات تتمثل فيما يلى :

أ - العلاقة بين منسوب مصدر مياه النافورة وفوهتها .
ب - كمية المياه والغازات المتجمعة فى الخزانات الجوفية للنافورة .

فإذا كان مصدر المياه الجوفية *Catchment Area* يقع على منسوب أعلى من فتحة النافورة فقد يساعد ذلك على اندفاع المياه من النافورة باستمرار . أما اذا كانت فتحة النافورة تقع على منسوب أعلى من مصدر مياهها ، ففى هده الحالة تنبثق المياه على فترات متقطعة . وعندما تقل كمية المياه الجوفية فى خزان النافورة ، تصبح قصبة النافورة خالية من المياه ، بينما تتفاعل كمية المياه القليلة مع الصخور الساخنة وتتحول إلى كميات هائلة من البخار والغازات تساعد بدورها على ازدياد الضغط الهيدروستاتيكى داخل خزان النافورة وتبدأ المياه فى الاندفاع ثانية إلى السطح .

وفى بعض الأحيان قد تندفع المياه الساخنة خلال قصبة النافورة ثم تتحول تدريجيا إلى أبخرة وغازات تبعا لتدنى قوى الضغط الهيدروستاتيكى الذى لم



(أ) نافورات دائمة الإنبثاق

(ب) نافورات متقطعة الإنبثاق

(شكل ١١٠) أنواع النافورات الحارة

يستطع دفع المياه من أسفل إلى أعلى فى النافورة . وعلى ذلك يصبح عمود النافورة عبارة عن عمود من الأبخرة والغازات . وتتمثل هذه الحالة فى نافورة «أولد فيثفول *Old Faithful*» حيث تتحول كمية من المياه تبلغ نحو ٣٠٠٠ برميل إلى أبخرة وغازات فى نحو اربع دقائق ، ولا تستطيع أن تكمل رحلتها إلى السطح وأن تنبثق من فوهة النافورة . وكل نحو ساعة من الزمن تتجمع بعض المياه فى خزان النافورة ويشتد عامل الضغط الهيدروستاتيكى تبعا لزيادة الغازات فى قصبة النافورة وتندفع المياه إلى أعلى لبضع دقائق ثم ينقطع انبثاقها عندما تضعف قوى الضغط ، لتكمل دورتها من جديد .

التوزيع الجغرافى للنافورات والينابيع الحارة فى العالم :

تكاد لا تخلو أية قارة من قارات العالم من وجود النافورات والينابيع الحارة فى بعض أجزائها . ولا يرتبط التوزيع الجغرافى للنافورات بخطوط الطول أو بدوائر العرض بل تنتشر فى كل من المناطق الاستوائية والقطبية على السواء . وعلى ذلك تتمثل النافورات والينابيع الحارة فى بقاع متناثرة فى كل من ألسكا وسيبريا ، ومرتفعات الانديز *Andes* وفنزويلا وبتاجونيا فى أمريكا الجنوبية . كما تتمثل مناطق النافورات.فى أمريكا الشمالية ومنها منطقة (حدائق يللوستون الوطنية) *Yellowstone National Park* . وتظهر بعض النافورات فى هضبة التبت فى آسيا ، وبعض النافورات المنعزلة فى كل من جزيرة أيسلند ، وجزر أزروس . ويمكن القول ان من أهم مناطق النافورات الحارة اتساعاً فى العالم اتساعا تتمثل فى منطقة نافورات جزيرة ايسلند ومنطقة نافورات «يللوستون بارك» فى الولايات المتحدة الأمريكية .

(أ) منطقة نافورات ايسلند :

تشغل منطقة النافورات فى جزيرة ايسلند مساحة واسعة تبلغ نحو ٥٠٠٠ ميل مربع . وتعرف «النافورة» فى اللغة الأيسلندية باسم جوشر *Gusher or Spouter* وهى تعد من ظاهرات السطح المألوفة لسكان الجزيرة منذ تعميرها بالسكان . ومن أشهر النافورات الكبرى فى أيسلند هى نافورة شتروكر

Stroker . وتبعا للحجم الهائل من كميات المواد الارسابية المنبثقة مع مياه النافورات في أيسلند ، فقد تميزت نافورات هذه الجزيرة بتكوين عدة ظاهرات جيومورفولوجية إرسابية ثانوية منها المخروطات والمدرجات النافورية . وتغطي الأراضي السهلية المستنقعية المجاورة لنافورات إيسلند بالطحالب والأعشاب . وقد تبين أن المصدر الرئيسي لمياه النافورات في أيسلند يتمثل في كل من الأمطار التي تسقط على المرتفعات وبعض المياه المنصهرة من الثلوج ويساعد على تسرب هذه المياه وتغلغلها في جوف صخور قشرة الأرض كثرة الشقوق والمفاصل في صخور جزيرة أيسلند ، وتجمع المياه الجوفية فوق صخور نارية ساخنة .

(ب) منطقة نافورات يللوستون بارك *Yellowstone Park* :

تقع منطقة «يللوستون بارك» في الركن الشمالي الغربي من ولاية وايومنج *Wyoming* ويجري فيها الأجزاء العليا من نهري يللوستون وبيج هورن *Big Horn* وهما من روافد الميسوري الأعلى . وتمثل هذه المنطقة حوضا جبليا تحيط به مرتفعات أبسروكا *Absaroka Range* في الشرق ، ومرتفعات جيلاتين *Gallatin* في الشمال الغربي وهضبة مديسون *Madison* في الجنوب الغربي وقد تأثرت صخور هذه المنطقة بحركات صدعية شديدة ، ومن ثم ظهرت معظم نافورات يللوستون بارك على طول أسطح الصدوع أو مصاحبة لفتحات الشقوق والمفاصل الكبرى . (هذا بخلاف نافورات إقليم وايمانجو *Waimango* في نيوزيلند التي تتكون في الأقاليم البركانية مصاحبة السدود الرأسية ، ونافورات أركانسس في الولايات المتحدة الأمريكية حيث تنبثق النافورات طبيعيا من الصخور الرملية المسامية المنثنية المقعرة) وتبعا لاتساع منطقة يللوستون بارك تقسم عادة إلى ثلاثة أقسام منفصلة هي :

أ - حوض النافورات العليا .

ب - حوض النافورات السفلي .

جـ - حوض نافورات نوريس .

وقد تبين أن المصدر الرئيسى لمياه نافورات يللوستون يتمثل فى مياه الأمطار التى تسقط على المرتفعات الجبلية التى تحيط بالمنطقة من كل الجوانب . وتتسرب بعض هذه المياه خلال فتحات الشقوق والمفاصل وأسطح الصدوع التى تشكل صخور الحوض . وبعد أن تصل المياه إلى خزانها الجوفى الطبيعى ، تتجمع فيه وترتفع درجة حرارتها تبعا لتأثرها بالصخور الساخنة ، وعلى ذلك تندفع المياه الجوفية إلى أعلى محاولة الوصول إلى سطح الأرض تحت تأثير الضغط الهيدروستاتيكى .

وتتميز بعض أجزاء من جانبى وادى يللوستون الأخدودى بانبثاق كميات كبيرة من الغازات خلال فترات متقطعة ، بل يرجح أن أهم العوامل التى ساهمت فى تشكيل صخور جانبى هذا الوادى بالألوان المتعددة هى تلك الغازات الكثيفة من جوف الصخور والتى ساعدت بدورها على تنشيط فعل التجوية الكيميائية لأسطح الصخور ، ويتمثل فى منطقة يللستون بارك نحو ٢٠٠٠ ينبوع حار ، ونحو ٧١ نافورة حارة ، من بينها أكثر من ٢٠ نافورة تندفع مياهها إلى أعلى السطح بنحو ٥٠ قدما ، بينما تندفع مياه نافورة «أولد فيثفول *Old Faithful*» إلى نحو ١٥٠ قدما فوق سطح الأرض المجاورة .

ولا يتوقف فعل المياه الجوفية على ظهورها بأشكال مختلفة وتكوينها ظاهرات جيومورفولوجية ثانوية فوق سطح الأرض ، بل تعمل كذلك على تشكيل ظاهرات جيومورفولوجية كبرى فى جوف صخور قشرة الأرض كذلك ويظهر أثر فعل المياه الجوفية خاصة إذا تغلغلت فى صخور هائلة السمك تتألف من الطبقات الجيرية المسامية اللينة الرخوة ، كما هو الحال فى أقاليم الكارست الجيرية .

الفصل السابع عشر

أثر فعل المياه الجوفية فى تشكيل بعض الظاهرات الجيومورفولوجية فى أقاليم الكارست الجيرية

تتأثر الصخور الجيرية الكبيرة السمك تأثرا كبيرا إذا تعرضت لفعل المياه الجوفية ويتكون فيها ظاهرات جيومورفولوجية مميزة ، وأظهر هذه الأقاليم الجيرية هو إقليم «كارست *Karst*» فى يوغوسلافيا حيث تنتشر فيه مجموعات من الظاهرات الجيومورفولوجية الفريدة فى أنواعها وأشكالها ، وترتبط نشأتها جميعا بما ينتج عن عمليات التحلل والاذابة بفعل المياه الجوفية فى الصخور الجيرية . وقد شاع استخدام تعبير «كارست» فى الدراسات الجيومورفولوجية الحديثة ، وأصبح يطلق على كل إقليم جيرى يتألف من ظاهرات جيومورفولوجية تشبه تلك التى تتمثل فى إقليم الكارست الحقيقى فى يوغوسلافيا . ومن بين الأقاليم الجيرية أو «الكارستية» فى العالم إقليم هضبة كوسيه *Causse* فى جنوب فرنسا ، والأقاليم الجيرية فى كل من شبه جزيرة الموره باليونان ، وشمال شبه جزيرة يوكوتان بأمريكا الوسطى ، وأواسط شبه جزيرة فلوريدا بالولايات المتحدة الأمريكية وبعض أجزاء من الساحل الجنوبى لاستراليا والأجزاء المرتفعة العليا من السلسلة الغربية فى لبنان والتى تتألف من الصخور الجوراسية والكريتاسية الهائلة السمك ، وخاصة فى مناطق المكمل (أعالى حوض أبو على) وقرنة السوداء والأرز وجبل كاكاترا وجبل صنين وبحوض نهر الكلب (نهر الوفا) . كما تظهر ظواهر الكارست الجيرية فى مناطق ثانوية أخرى فى لبنان من بينها مناطق أهدن . وكفر صغاب ، وجبل اللقلوق وجبل جاج ، وجبل موسى وجبل الكنيسة .

وتتلخص أهم العوامل التى تسهم فى تكوين ظواهر أقاليم الكارست الجيرية فى الآتى :

أ - زيادة سمك الطبقات الجيرية أو الجيرية المغنيسية *Megnesian Limestone* أو الدولوميتية حتى يصل سمكها فى بعض الأحيان إلى أكثر من ٢٠٠٠ متراً .

ب - ارتفاع مسامية الصخور واتساع الفراغات بين حبيباتها .

جـ - تأثر الصخور بفعل الشقوق والمفاصل والفوالق التى تتسع فتحاتها بفعل التجوية الكيميائية .

د - وقوع الأقاليم الكارستية فى مناطق رطبة تسقط عليها كميات كبيرة من الأمطار أو فى مناطق شبه جافة بشرط أن تنحدر إلى الصخور الجيرية للإقليم مياه جوفية بكميات كبيرة مهما كان مصدرها . ولكن يمكن القول أنه كلما زادت كمية التساقط فوق الصخور الجيرية فى إقليم ما أدى هذا إلى سرعة انجاز عمليات التجوية الكيميائية وتحلل معادن الصخور ، وانتشار ظواهر الكارست الجيرية فى هذا الإقليم بشكل واضح .

ومن بين الظاهرات الجيومورفولوجية العامة التى تتمثل فوق سطح الأرض فى أقاليم الكارست الجيرية ما يلى :

١ - البوجاز (التشرشر الجيرى) *Bogaz* :

عندما تتسرب مياه الأمطار إلى جوف الصخور الجيرية السميكة قد ينجم عن ذلك حدوث عمليات تحلل وذوبان لقدر كبير من المواد الجيرية . وتساعد هذه العملية على توالى فتحات الشقوق والفوالق . واذا انتشرت هذه الظاهرة الأخيرة فى الأقاليم الجيرية ، فتؤدى بدورها إلى شدة تضرس السطح تبعا لتقطع الكتل الصخرية بواسطة الفتحات الواسعة للشقوق (لوحة ٤٧) .

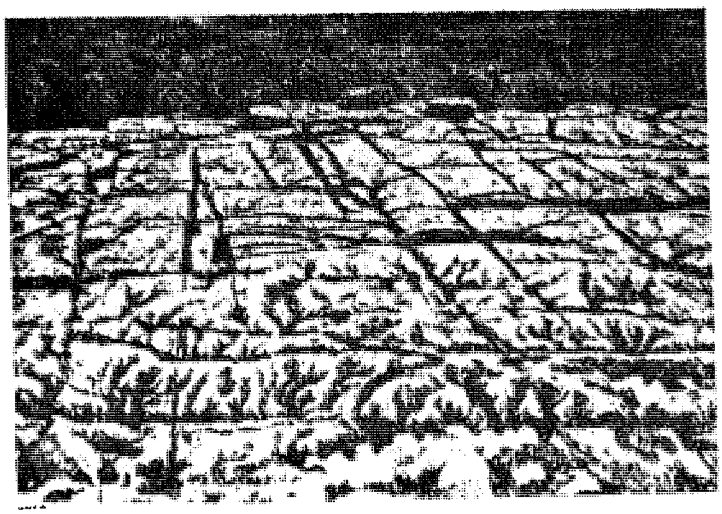
وعلى ذلك يتشكل سطح الصخور الجيرية بحزوز عميقة أشبه بتجويفات طولية لمسيلات مائية جبلية تعمل على شدة تضرس السطح وتقطعه . وتعرف هذه الظاهرة بأسماء مختلفة منها البوجاز *Bogaz* فى سيبريا ويوغسلافيا والليبية *Lapies* فى فرنسا والكارن *Karren* فى ألمانيا ، وكلينت *Clint or helkes grikes* فى انجلترا . وتظهر مثل هذه الأسطح الوعرة المشرشرة

بوضوح على السفوح الجبلية الجيرية الجوراسية والسينمونية فى كل من مناطق كسران والفيترون والمكمل وكاكاترا وقناة باكيش بالقرب من جبل صنين فى لبنان (لوحة ٤٨) .

٢ - الحفر الغائرة والأودية الطولية الجيرية *Sinkholes and Poljés* :

وهى ظاهرة واسعة الانتشار حيث تكاد لا تخلو منها أى منطقة جيرية فى المناطق الرطبة فى العالم . وتختلف هذه الحفر فيما بينها من حيث المساحة والعمق والشكل . ويمكن أن نميز نوعين رئيسيين هما :

أ - النوع الأول ، ويعرف باسم «بالوعات الاذابة *Solution Sinks*» كما يعرف كذلك باسم البالوعات المستديرة الشكل *Dolines* ، وتتكون هذه المجموعة من الحفر ببطء تبعا لفعل عمليات تحلل الصخور السفلية واتساع فتحات الشقوق الصخرية مما ينجم عنه هبوط الطبقة العليا من السطح وتبدو على شكل منخفض شبه مروحى ، وتتميز أعالى الطبقة العليا من صخور هذا المنخفض باحتوائها على ارسابات من التربة تساهم فى تكوين غطاءات من تلك النباتات التى تنمو عادة فى مثل هذه التربة



(لوحة ٤٧) التشرشر الجيرى فى الصخور الجيرية بمرتفعات البنين ـ انجلترا

الجيرية .

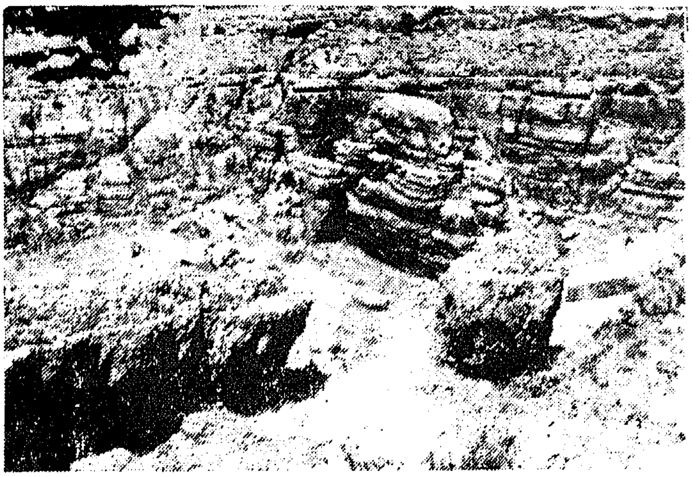
ب - أما النوع الثانى فيعرف باسم البالوعات الانهيارية *Collapes Sinks* وتتكون هذه المجموعة من البالوعات أو الحفر تبعا لعمليات انهيار الصخور الجيرية السطحية . وقد تلتحم بالوعتان مع بعضهما البعض تبعا لتعرضهما للانهيار ، ومن ثم تتكون بالوعات مركبة *Compound Sinkholes* .

أما اذا كانت عمليات الهبوط شديد وتحدث بصورة مستمرة فقد تساعد هذه العملية على تكوين منخفضات أو أحواض طولية ذات جوانب حائطية شديدة الانحدار تعرف باسم «الأودية الطولية الجيرية Polje» . وتتمثل هذه الظاهرة الأخيرة فى أجزاء متفرقة لكل من إقليم كارست بيوغسلافيا وشبه جزيرة المورة باليونان .

وقد أوضحت نتائج الأبحاث الحقلية تمثيل ظاهرة البالوعات بأشكالها المختلفة فوق الصخور الجيرية الجوراسية والسينمونية فى منطقتى كاكاترا ، وقناة باكيش وكسروان فى لبنان ، وأظهر مناطق الأودية الطولية الجيرية تتمثل فى مناطق عجلتون وريفون وفيترون بحوض نهر الوفا (الكلب) فى لبنان (لوحة ٤٨) .

٣ - **المجارى الجوفية** *Subterranean Streams* :

تساهم فى نشأة هذه الظاهرة كل من الحفر والبالوعات والأحواض الطولية فى المناطق الجيرية . فعندما تغور مياه نهر صغير فى احدى هذه البالوعات قد يظهر جزء منه فوق السطح بينما يختفى الجزء الآخر تحت السطح ، إلا أنه قد يظهر فوق السطح مرة أخرى عندما يكون منسوب مجرى النهر الجوفى مع مستوى سطح الأرض . ويتكون بهذه الطريقة ما يعرف باسم الأنهار الجوفية أو المجارى المفقودة *Lost Rivers* . أما الأودية العمياء *Blind Valleys* فيقصد بها تلك المجارى السطحية التى تجف مياهها تبعا لتغلغلها فى جوف



(لوحة ٤٨) بالوعات الاذابة فى منطقة باكيش (شرق بسكنتا)
مرتفعات لبنان الغربية - تصوير الباحث

الصخر وتحولها إلى مجارى جوفية . وإذا امتلأت هذه الأودية العمياء بالمياه من جديد عقب فترة سقوط من الأمطار الغزيرة قد ينجم عنها حدوث فيضانات قوية تهدد القوى السكنية والمراكز العمرانية فى مناطق الكارست الجيرية .

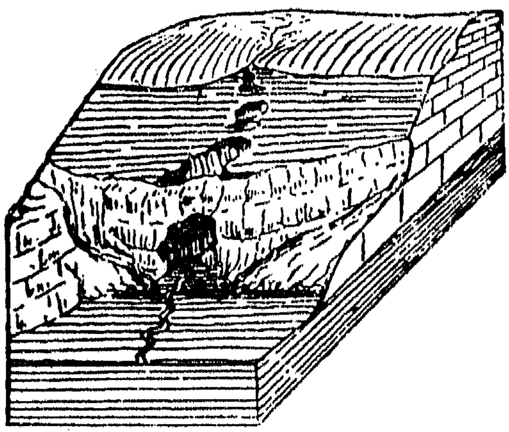
ولمجارى الأنهار الجوفية أسماء محلية مختلفة ، ففى جنوب شرق انجلترا يطلق عليها اسم الأنهار المؤقتة *bournes* أو أودية أقاليم الكارست *Karstvales* ويطلق عليها اسم *Nailbournes* فى كنت *Kent* ، واسم *Woe - bournes or levants* فى هامبشير ، واسم *gypsies* فى يوركشير ، أما اذا كانت هذه الأودية ظاهرة على السطح خاصة خلال فصل الشتاء فيطلق عليها اسم *Winter bournes* فى منطقة ويلتشير .

وقد تبين من الدراسات الحقلية فى مرتفعات لبنان الغربية أن معظم الأنهار الرئيسة فى لبنان والتى تقطع هذه المرتفعات (مثل أنهار قاديشا والجوز وابراهيم والكلب وبيروت والدامور) لها روافد عليا مؤقتة *allogenic* لاتظهر فيها المياه إلا خلال فصل الشتاء وعندما تقطع هذه الروافد الجبلية

الصخور الجيرية الجوراسية والكريتاسية السينمونية تتخذ كل صفات الأودية الكارستية شبه الجافة .

وقد تعمل المياه الجارية السطحية فى المناطق الجيرية على حفر مناطق عميقة فى الصخور الضعيفة وتؤدى إلى تكوين خنادق وكهوف جيرية تختفى فيها أجزاء من هذه المجارى النهرية . وقد ينتج عن ذلك أيضا تكوين الجسور الطبيعية نتيجة لذوبان الصخور الجيرية بفعل المياه الجوفية (شكل ١١١) .

وتجدر الاشارة إلى نقطة أخرى وهى أن عمليات الأسر النهرى قد تتكون كذلك فى جوف الصخور . ففى بعض الأحيان قد يتمكن نهر سطحى من أن يعمق مجراه خلال التكوينات الجيرية التى تقع بالقرب من مجرى نهرى جوفى . ومن ثم تتحول مياه النهر السطحى وتنحدر صوب مجرى النهر الجوفى عن طريق فتحات الشقوق العريضة والمسالك الجوفية . ومن بين أظهر الأنهار الجوفية نهر ريكا *Reka* الذى يمتد بالقرب من مدينة تريست ، ويبلغ طول مجراه الجوفى نحو ١٨ ميلا .



(شكل ١١١) الخصائص العامة للمجارى النهرية فى المناطق الجيرية حيث قد يعمل المجرى النهرى على تكوين الحفر والكهوف والجسور الجيرية الطبيعية أثناء مراحل نمو النهر المختلفة

٤ التلال المنعزلة والغابات الحجرية (١)

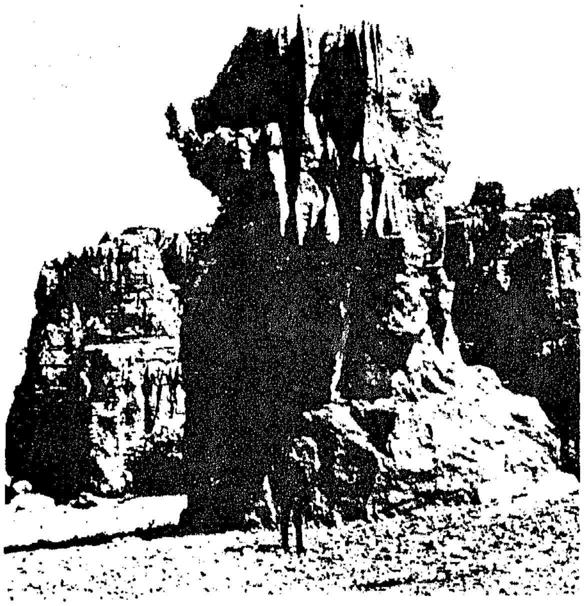
Monadnocks and Stone - Forest

بعد أن تعمل المياه الجوفية على إذابة أجزاء واسعة من المناطق الجيرية قد تتبقى فوق السطح بعض الكتل الجيرية التى استطاعت مقاومة عمليات الاذابة والتحلل تبعا لشدة صلابتها النسبية ، ويطلق عليها عامة اسم «التلال المنعزلة» *Monadnock or isolated hills* . ولكن تعرف هذه التلال بأسماء محلية مختلفة ، فيطلق عليها فى منطقة الكارست اليوغسلافية اسم «همز *Hums*» ، وفى جزيرة كوبا اسم «موجوتز *Mogotes*» ، وفى بورت ريكو اسم *Pepiano hills and Hay - stack* وفى منطقة بجايا شمال غرب قسطنطينة (الجزائر) اسم تلال المسخوطين ، وتختلف هذه التلال أو الكتل الجيرية من إقليم إلى آخر من حيث ارتفاعها وأشكالها وذلك تبعا لتطور نشأتها والظروف التى ساهمت فى تكوينها .

وقد درس الأستاذ كوتون *Cotton 1952, p. 128* ظاهرة التلال المنعزلة فى هضبة نيلسون الجيرية فى نيوزيلند . وأوضح أثر فعل التجوية الكيميائية فى المناطق الضعيفة جيولوجيا فى تكوين تلال صخرية منعزلة ، تقف عالية (حوالى ٢٠ مترا) فوق سطح الأراضى المجاورة . وتتميز هذه التلال بشدة تضرسها ، وسطحها المحفور ، وتكوينها بفعل الشقوق الطولية فى الصخر ، ومن ثم تظهر بأشكال هندسية متنوعة . وقد درس الباحث تكوين مثل هذه التلال الصخرية المنعزلة فى مناطق عجلتون وفيترون وصوفر ، وريفون فى مرتفعات لبنان الغربية . (لوحة ٤٩ ولوحة ٥٠) . وتتخذ هذه التلال أشكال مختلفة تبعا لاختلاف سمك الطبقات الصخرية ومدى تأثرها بالشقوق الطولية والعرضية ، ومدى فعل التجوية الكيميائية فى تلك الصخور الجيرية .

---

(١) تختلف الغابات الحجرية Stone forests عن الغابات المتحجرة Petrified woods من حيث النشأة ، فالأولى تنشأ فى المناطق الجيرية بفعل التجوية الكيميائية ، والثانية تتكون عندما تتحجر الغابات



(لوحة ٤٩) التلال الجيرية المنعزلة فى منطقة عجلتون - جبال لبنان الغربية
تصوير الباحث

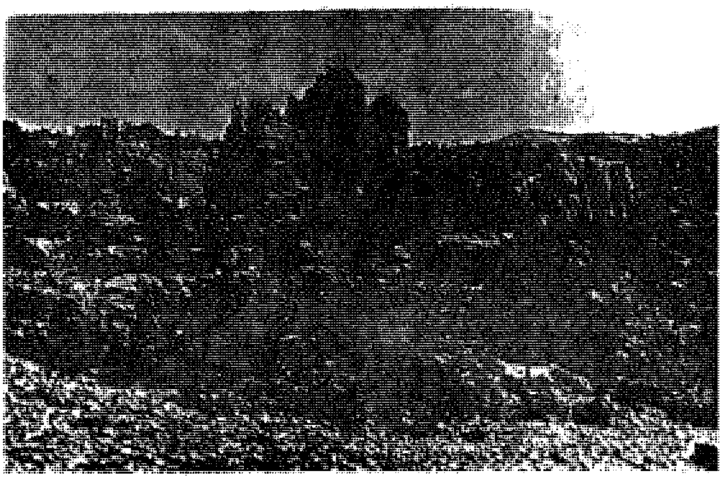


(لوحة ٥٠) الغابات الحجرية الجيرية فى منطقة عجلتون من مرتفعات
لبنان الغربية - تصوير الباحث.

وعندما تتكون مجموعات متجاورة من التلال الصخرية الجيرية (تبعا لتعرض الحافات الجيرية لفعل التجوية الكيميائية الشديد) تظهر التلال على شكل ما يشبه الغابات أو جذوع أشجار حجرية عالية ، ومن ثم يطلق عليها تعبير الغابات الحجرية *Stone Forests* . وقد درس الباحث هذه الظاهرة الجيومورفولوجية فى منطقة عجلتون وفيترون بحوض نهر الكلب ، فى الأراضى اللبنانية (لوحة ٥١) . وقد تبين أن كل أسطح التلال الصخرية المنعزلة ، وكذلك تلك التى تتكون فى مجموعات تلال الغابات الحجرية مشكلة بحفر إذابة عميقة ذات أشكال مختلفة *niches* تزيد من شدة وعورة وتضرس المناطق الجيرية . ويعزى تكوين هذه الحفر إلى فعل الاذابة فى الصخور الجيرية .

٥ - الجسور الطبيعية فى المناطق الجيرية *Natural Karst bridges*:

تتكون ظاهرة الجسور الطبيعية فى المناطق الجيرية ذات الصخور الهائلة السمك والشديد التقطع بفعل الشقوق الطولية والعرضية . فتعمل المياه على ذوبان الجير وتؤدى إلى تكوين حفر مختلفة وبالوعات إذابة متنوعة النشأة وقد يؤدى اتصال عدة بالوعات اذابة أو أحواض اذابة دائرية الشكل مع بعضها

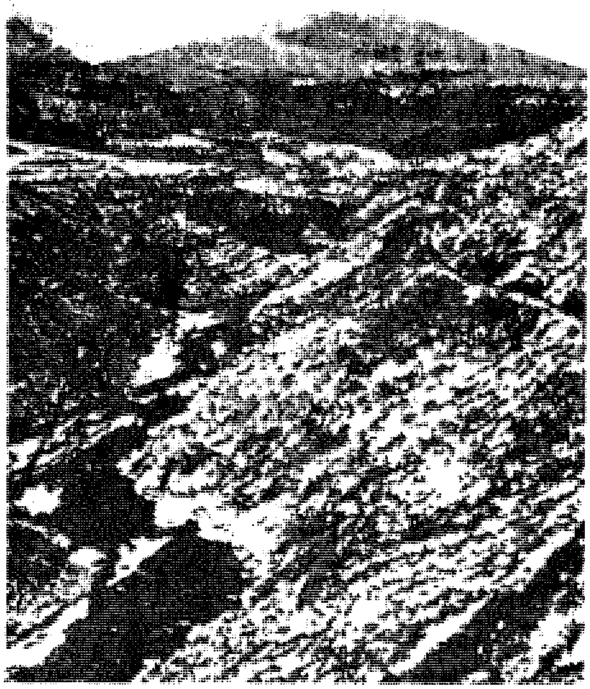


(لوحة ٥١) الغابات الحجرية الجيرية فى حوض نهر الكلب
مرتفعات لبنان الغربية - تصوير الباحث

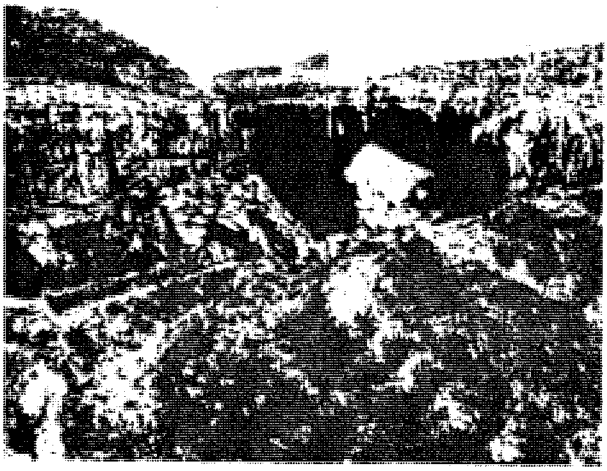
البعض الآخر إلى تكوين الجسور الطبيعية .

وقد استرعت هذه الظاهرة انتباه الباحثين منذ القدم واعتقد جيفرسون عام ١٧٩٤ بأن هذه الظاهرة فى الولايات المتحدة ترجع إلى ثنى الصخور بصورة غير طبيعية . أما جيلمر *Gilmer. 1818* فقد اعتقد بأن نشأة الجسور الطبيعية ترجع إلى أثر فعل المياه الجوفية .

ومن النظريات المهمة الخاصة بتفسير نشأة الجسور الطبيعية فى المناطق الجيرية نظرية وودوارد *Woodward, 1936* وبيدس *Beeds, 1911* اللذان اعتقدا بأن الكبارى الطبيعية الجيرية فى فرجينيا بالولايات المتحدة الأمريكية



(لوحة ٥٢) منظر عام لجسر الحجر عند أعالى نهر الكلب
بجوار نبع اللبن - تصوير الباحث



(لوحة ٥٣) مورفولوجية جسر الحجر - لبنان - تصوير الباحث

انما ترجع الى حدوث عمليات أسر نهرى بين المياه الجوفية ، أو تحول مياه مجرى نهر سطحي على منسوب مرتفع إلى مياه نهر جوفى على منسوب منخفض فيحفر الصخور ويؤدى فى النهاية إلى تكوين الجسر الطبيعى .

وقد درس الباحث الجسر الطبيعى الجيرى الوحيد فى الأراضى اللبنانية ، والذى يعرف باسم «جسر الحجر» ويقع عند أعالى نهر الكلب مجاوراً لنبع اللبن (لوحة ٥٢ ولوحة ٥٣) على بعد ٢ كم من بلدة فاريا وبالقرب من كفر ذبيان. ويقع هذا الجسر الطبيعى على منسوب ١٤٠٠ م فوق منسوب سطح البحر ويتكون فى التكوينات الكريتاسية العليا *Upper Cretaceous Rocks* العالية التشقق بفعل الشقوق الرأسية والعرضية .

وأوضح الباحث(*Abou El-Enin, 1973*)بأن جسر الحجر هو نتيجة التحام أو اتصال حوضين إذابة جانبيين متضادين . وعملت المياه التى تتجمع فيهما خلال فصل الشتاء وبفعل انصهار الثلج الشتوى عمل على إذابة التكوينات الجيرية السفلية الضعيفة ، وحفرت المياه لها مجرى مائيا وكونت أعالى نهر الكلب ، ثم بزيادة عملية النحت الرأسى لهذا الرافد الجبلى تعمق واديه وعمل على زيادة تعميق وحفر القسم الأسفل من الجسر الطبيعى فى

حين بقى القسم العلوى من الأرض على شكل جسر يربط بين جانبى الوادى النهرى (١) .

بعض ظاهرات الكارست التى تتمثل تحت سطح الأرض

(الكهوف الجيرية)

Karst Caves

تعتبر الكهوف ممرات طبيعية وحجرات متسعة تمتد تحت سطح الأرض فى جوف الصخور الجيرية المرتفعة السمك . وقد تمتد هذه الكهوف فى جوف الصخور الجيرية على شكل فجوات أو فتحات ذات امتداد أفقى أو رأسى . وتختلف الكهوف فيما بينها من حيث أعماقها بالنسبة لسطح الأرض . فبعضها يتكون على أعماق قريبة من سطح الأرض ، بينما يتكون بعضها الآخر على أعماق بعيدة جدا من سطح الأرض ، كما قد يتألف بعض منها من حجرة واحدة أو حجرات معدودات ، بينما يتركب بعضها الآخر من حجرات عديدة تتميز بإتساعها وعلو أسقفها ، وكثيرا ما تجرى بعض المجارى النهرية الجوفية فوق أرضية هذه الكهوف ، بينما قد يخلو بعضها الآخر تماما من هذه المجارى الجوفية . ومن بين أهم العوامل التى تحدد المظهر الجيومورفولوجى العام للكهوف الجيرية وأشكالها المختلفة هو اتجاه الفوالق والشقوق ومدى كثافتها فى صخور الإقليم .

وإلى جانب الكهوف الجيرية *Karst Caves* ، هناك بعض العوامل الأخرى التى قد تساهم فى تكوين بعض الكهوف بصورة مصغرة فى مناطق لا تتألف من صخور جيرية . فقد تتكون ظاهرة الكهوف مثلا نتيجة لانهيارات اللافا . فمن المعروف أن أسطح اللافا تبرد بسرعة إذا ما قورنت بالأجزاء السفلى منها

---

(١) للدراسة التفصيلية راجع :

"Abou el-Enin, H.," Essays on the geomorphology of the Lebanon" Beirut (1973) p. 252 - 262.

، وينجم عن اختلاف درجات الحرارة فى غطاءات اللافا ظهور بعض التجويفات اللافية على شكل كهوف لافية صغيرة . وقد تعمل الأمواج على تكوين بعض الكهوف البحرية *Sea Caves* على طول أجزاء من الشواطئ الجبلية تبعا لتحلل الصخور اللينة وتآكلها ، وتعمل الرياح كذلك تبعا لاحتكاكها بأسطح التكوينات الارسابية الرخوة المفككة على تكوين بعض الكهوف الصغيرة *Wind Caves* . ولكن مهما تعددت أنواع الكهوف فإن أظهر أنواعها جميعا هى تلك التى توجد فى مناطق الكارست الجيرية فى العالم وتتلخص العوامل التى تساعد على تكوين الكهوف فى مناطق الكارست الجيرية فى الآتى :

أ - تكوين صخور المنطقة من تكوينات جيرية هائلة السمك تتميز بنقائها وتجانسها .

ب - سهولة تحلل معادن الصخر بفعل الاذابة . ويذكر الأستاذ لوبيك *A. K. Lobeck* فى كتابه (الجيومورفولوجيا) (١) أن فعل تحلل الصخور الجيرية هو السبب الجوهرى فى نشأة الكهوف الجيرية .

(The solubility of the limestone is the prime reason for the presence of the caves).

وتساعد كل من فتحات الشقوق والصدوع والمفاصل والفوالق والحدود الفاصلة بين الطبقات على تسهيل فعل التجوية الكيميائية وتحلل معادن الصخر على طول هذه المناطق الضعيفة جيولوجيا . كما تسهم الفتحات الواسعة للشقوق على سرعة تسرب المياه وتغلغلها فى جوف الصخور . أما إذا تسربت المياه فى صخور عالية المسامية ، خالية من الشقوق ، فتتحرك المياه فى كل أجزاء كتلة الصخر دون أن تتجمع أو تتركز على طول أسطح الصدوع

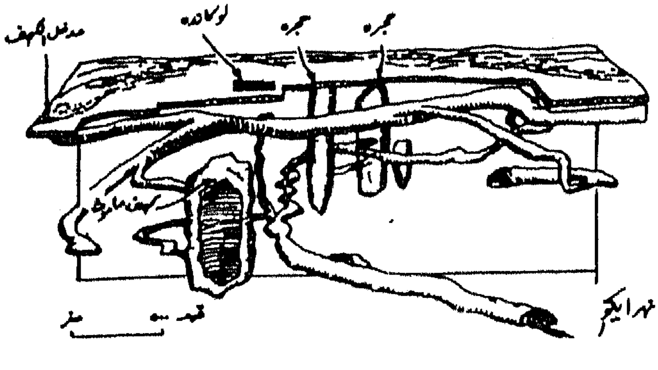
---

(1) Lobeck, A. K., "Geomorphology, an introduction to the study of Landscapes" New York, 1939.

أو المفاصل ، ومن ثم يضعف فعل التجوية الكيميائية .

وقد تبين أن وجود ثاني أكسيد الكربون في المياه سواء أكان مكتسبا من الجو أو من التربة ، يساعد على تحلل الطبقات الجيرية . وقد دلت الدراسات المختلفة أن كمية الأمطار الساقطة فوق مساحة قدرها فدان واحد في منطقة كهف ماموث (شكل ١١٢) في قدرتها أن تذيب نحو ٢٥ قدما مكعبا أو أكثر من الصخور الجيرية في العام الواحد . أو بمعنى آخر تتعرض الصخور الجيرية في المناطق الرطبة الغزيرة الأمطار لفعل التجوية الكيميائية السريعة .

وعلى الرغم من أن الأراضي الجيرية اللبنانية يوجد فيها العديد من الكهوف الجيرية مثل كهوف نبع الشتواتي ، وعاقورا ، ونبع المغرة في كسروان ، ومشمش في جبل الزعرور بالمتن ، وبلعة في جبل اللقلوق ، وفوار عين دارة بالقرب من مجدل ترشيش ، وفوار انطلياس بالمتن ، إلا أن أهم وأكبر هذه الكهوف الجيرية حجما هو كهف أو مغارة جعيتا ، ويقع هذا الكهف في القسم الأدنى من حوض نهر الكلب على مسافة ٢ كم إلى الشمال من بلدة بكفيا وعلى بعد حوالي ١٨ كم من بيروت . واكتشف هذا الكهف الكبير في عام ١٨٣٦ وتبين أنه يتكون من كهفين أو طابقين ، كهف علوي ، وآخر سفلي . ويمتلأ الكهف السفلي بالمياه تماما خلال فصل الشتاء وذلك تبعا



(شكل ١١٢) كهف ماموث الجيري وممراته الجوفية

لارتفاع مستوى الماء الجوفى خلال هذا الفصل ، وتقتصر زيارة الكهف فى الشتاء على الكهف العلوى ، والذى افتتح رسميا للزوار ولأغراض السياحة فى عام ١٩٦٩ . ويتكون كهف جعيتا فى الصخور الجوراسية الهائلة السمك وهى مقطعة هنا بالشقوق الرأسية والعرضية . وقد لخص الباحث نشأة هذا الكهف بطابقيه (١) ، ورجح بأنه تكون بفعل وانسياب المياه الجوفية لنهر الكلب



(لوحة ٥٤) بعض الظاهرات الكارستية داخل الكهف الجيرى العلوى فى مغارة جعيتا لبنان - تصوير الباحث

(1) Abou El-Enin H. "Essays on the geomorphology of the Lebanon" Beirut (1973) p. 261 - 271.

المجاور له ومياه الأمطار المتسربة فى الصخر وذوبانها الصخور الجيرية وأن الكهف العلوى أقدم عمرا من الكهف السفلى الذى تكون هو الآخر نتيجة لحدوث عمليات النحت الرأسى *incision* المتتالية لوادى نهر الكلب . وقد ميز الباحث أكثر من عشرين ظاهرة جيومورفولوجية متنوعة داخل الكهف العلوى من مغارة جعيتا . ويمكن القول أن هذا الكهف العجيب يكاد يضم جميع الظاهرات الجيرية المعروفة التى تشاهد داخل أى من الكهوف الجيرية فى العالم (لوحة ٥٤ ولوحة ٥٥) .

بعض الظاهرات الجيومورفولوجية التى تتمثل داخل الكهوف الجيرية :

تتعرض الكهوف وممراتها وقنواتها للتعرية ، ليس ذلك فقط بواسطة تحلل معادن الصخر واذابتها بواسطة المياه الجوفية ولكن كذلك بفعل أنواع التعرية المختلفة الأخرى ، مثلها فى هذه الحالة كمثل أى ظاهرة جيورمورفولوجية



(لوحة ٥٥) بعض الظاهرات الكارستية داخل الكهف السفلى فى مغارة جعيتا لبنان - تصوير الباحث

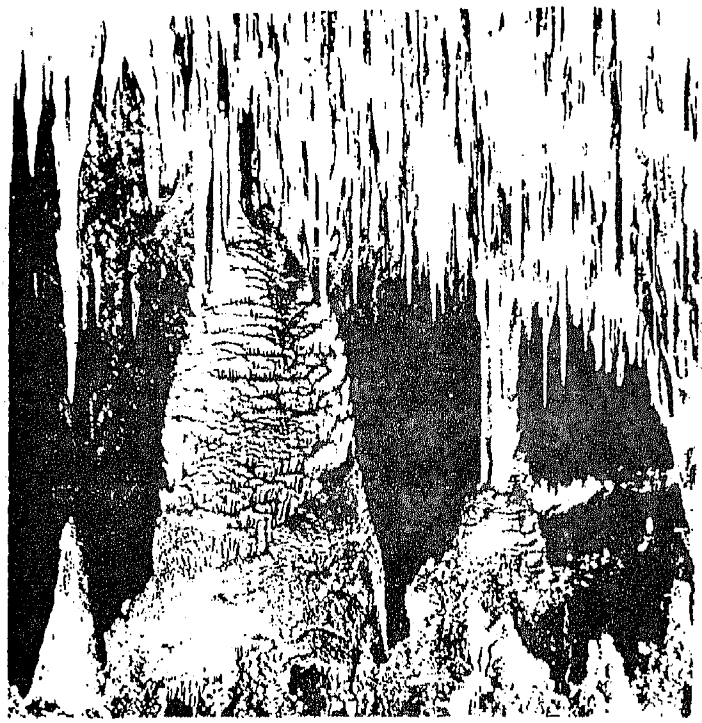
فوق سطح الأرض . هذا بالاضافة إلى أن المجارى الجوفية تنقل معها أثناء جريانها فوق سطح الإقليم الجيرى أو أثناء تسربها فى الشقوق كميات كبيرة من الطين والغرين *Silt* . ويمتزج مع المياه الجوفية كميات كبيرة من هذا الغرين الذى تفتته المياه من الفجوات *Spaces* والحفر والمنخفضات *Sinks and Depressions* وتحمل ارسابات الطين الجيرى إلى أرضية الكهوف وتترسب فى المقعرات السطحية لأرضية هذه الكهوف .

ويتكون كل من الطين الرملى والجيرى فى الكهوف تبعا لتحلل الطبقات السطحية من التربة الموضعية للإقليم *Residual Soil* وتتميز رواسب التربة الرملية الموضعية فوق أرضية الكهوف بلونها البرتقالى أو الأحمر . ويكاد لا يخلو أى كهف من الكهوف الجيرية فى العالم من هذه التربة الرملية الجيرية، ولكن يختلف سمك هذه التربة من مكان إلى آخر حتى ولو فى نفس أجزاء أرضية الكهف الواحد ومن بين أظهر الكهوف الجيرية فى العالم كهف كارلسباد *Carlsbad* فى المكسيك والذى يتمثل فيه كل الظواهر الكارستية التى يمكن أن تُرى فى الكهوف الجيرية (لوحة ٥٦) . وتتلخص أهم الظاهرات الجيومورفولوجية التى تتمثل داخل الكهوف الجيرية فيما يلى :

١- رواسب الغرين الجيرى : *Cave Silt*

يعد الغرين الجيرى فى الكهوف من بين أهم مصادر رواسب النترات *Nitrate Deposits* وعلى ذلك استغلت الكهوف الجيرية استغلالا اقتصاديا أثناء الحروب الأوربية عام ١٨٨٢ لاستخراج النترات . وتوجد نترات الكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم بكميات كبيرة فى أرضية الكهوف وحوائطها وتستخرج النترات من حفر تنتشر فى أرضية الكهوف الجيرية تعرف باسم *Peter Dirt* . أما الرواسب الأخرى التى تتبقى فى قاع هذه الحفر بعد استخلاص النترات منها فتستخدم هى الأخرى فى عمل مسحوق البنادق *Gunpowder* وتتألف هذه الرواسب الأخيرة من مواد ملحية تعرف باسم *Saltpeter* .

وقد استخدمت كهوف ولاية «تنسى» خلال الحرب الأهلية الأمريكية فى



(لوحة ٥٦) كهف كارلسباد الجيرى فى المكسيك
والعمدة الصاعدة والنازلة فيه

نفس الأغراض الحربية التى استغلت فيها كهوف أوربا من قبل .

٢- ممرات الكهوف *Cave Passageways* :

تبعا للعلاقة القوية بين امتداد ممرات الكهوف بالنسبة لاتجاه كل من الشقوق والفوالق وميل الطبقات يمكن أن تقسم هذه الممرات إلى مجموعتين رئيسيتين هما :

(أ) الممرات التى تتبع الشقوق العمودية والمائلة *Joints* .
(ب) الممرات التى تتبع أسطح أو الحدود الفاصلة بين الطبقات *Bedding planes*

وتتميز ممرات المجموعة الأولى بكونها مرتفعة وضيقة *High and Narrow* بينما تتميز ممرات المجموعة الثانية بكونها منخفضة نسبيا وأكبر اتساعا *Law and Wide* وعلى أى حال بعد أن يتكون كل من هذين النوعين المختلفين من الممرات تساهم عوامل التعرية المختلفة فى زيادة اتساع فتحاتها وتشكيل مظهرها الجيومورفولوجى العام .

ويشاهد أحيانا فوق أرضية الكهوف الجيرية بعض الفجوات الطولية العميقة وتعرف باسم *Pits* ، كما قد يلاحظ بعض التموجات الارسابية القبابية *Domes* تبعا لتراكم فتات الصخور . أما الممرات الملتوية أو الحلزونية فى الكهوف والتى تعرف محليا فى الولايات المتحدة الأمريكية باسم ممرات المبرام اللولبى *Cork Screw Passageways* ونظرا لكثرة انحناءاته وصعوبة مسالكه يطلق عليها الزائرون اسم *Fat mans's Misery* . وتعتبر هذه الممرات الملتوية السراديب الهامة التى يدخل السياح والزائرون عن طريقها إلى داخل الكهف . وعندما يسير الزائر فى احدى هذه المجموعات من الممرات تبدو له وكأن حوائط الكهف مائلة أو أن هناك كتلا جيرية معرضة للسقوط فوق أرضية الكهف . ولكن كل هذه المظاهر لا تحتم فى الحقيقة حدوث عمليات السقوط أو الانهيار فى الكهوف .

٣ - الأعمدة الصاعدة والأعمدة النازلة *Stalagmites and Stalactites* :

عندما تتسرب المياه المشبعة بالجير من أسقف الكهوف تفقد عادة أثناء تسربها جزءا كبيرا من غاز ثانى أكسيد الكربون ، ويتبقى تبعا لذلك كربونات الجير على هيئة بلورات وقطيرات مترسبة ، تتزايد حجما بالتدريج إلى أن تكون عمودا رفيعا يمتد من أعلى إلى أسفل أو بمعنى آخر يشير طرفه إلى أرضية الكهف وهو الذى يعرف باسم العمود النازل (ستالاكتيت *Stalacite*) . وتبعا لسقوط المياه المشبعة بالجير فوق أرضية الكهف ثم تتبخر منها المياه وعندها تتجمع كربونات الكالسيوم على شكل أعمدة جيرية تنغرس قاعدتها فى أرضية الكهف بينما يشير طرفها العلوى صوب أسقف الكهف (لوحة ٥٤ ولوحة ٥٥) ويطلق عليها تعبير الأعمدة الصاعدة (ستالاجميت *Stalagmites*) وفى بعض الأحيان يتقابل العمود الصاعد مع العمود النازل ، ويكونان معاً عموداً واحداً هو العمود الجيرى *Travertine Piller* . وهناك مجموعة أخرى من الأعمدة الجيرية تتجه فى نموها اتجاها أفقيا أو مائلا ويطلق عليها اسم الأعمدة المائلة ، (هيلستايت *Helictites*) . ومن أشهر الكهوف التى تظهر كل من الأعمدة الصاعدة والنازلة والمائلة كهف الذئب قرب مدينة لورد بجنوب فرنسا (فى هضبة كوسية الجيرية *Causse plateau*) ، وكهف ماموث بالولايات المتحدة الأمريكية ، ومغارة جعيتا فى حوض نهر الكلب فى لبنان .

٤ - المياه الجيرية فى الكهوف *Travertine* :

تعد رواسب المياه الجيرية المعروفة باسم *Onyx* من الرواسب المهمة فى الكهوف والاسم العلمى الصحيح لها هو (الترافرتين *Travertine*) . وهى تتألف من مياه مشبعة بالارسابات والتكوينات الجيرية ، وتشغل أجزاء واسعة من أرضية الكهف . وتختلف المياه الجيرية حسب التكوينات والشوائب المختلطة بها . فإذا زادت نسبة أكسيد الحديد بالمياه ، فيبدو لون الارسابات الجيرية حمراء أو صفراء اللون ، أما اذا ارتفعت نسبة ثانى أكسيد المنجنيز فى هذه الرواسب ، فتتميز الأخيرة باللون الأسود الغامق ، ومن بين أمثلة ذلك

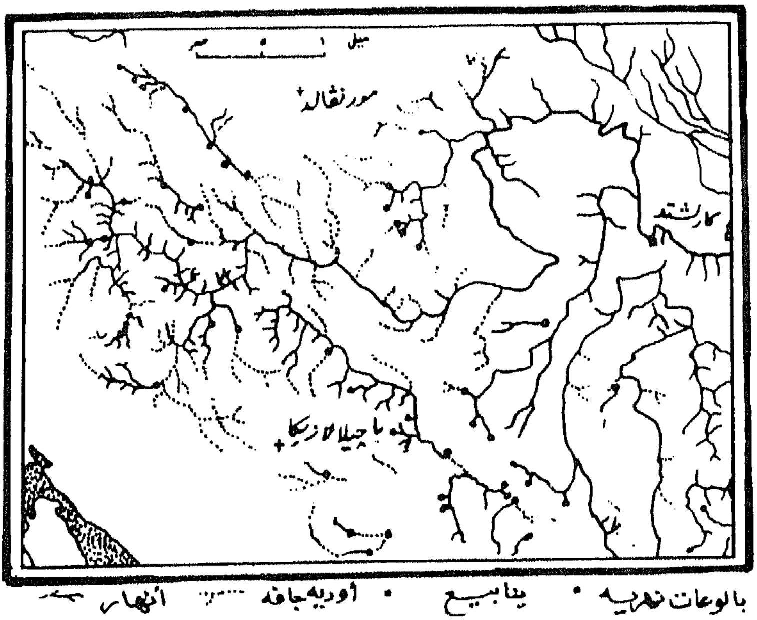
أسقف كهف ماموث التى يغلب عليها اللون الأسود الغامق تبعا لارتفاع نسبة ثانى أكسيد المنجنيز بالرواسب الجيرية .

ويعتبر الجبس والسلفات من الرواسب الأكثر شيوعا عن الرواسب الأخرى التى تلتصق بجدران الكهف وحوائطه . وتبدو ارسابات الجبس فى معظم الأحيان بأشكال هندسية رائعة ، يختلف طولها من بضعة سنتيمترات إلى نحو نصف متر . أما سلفات المنجنيز فهذه تتكون فى بعض الكهوف على شكل حبيبات بلورية دقيقة تلتصق بالحوائط والجدارن .

وتتصل مغارة جعيتا بأرضية حوض نهر الكلب فى لبنان بسطح الأرض عن طريق الممرات التى تتبع اتجاه الشقوق الرأسية فى الصخور وكذلك تلك التى تمتد مع اتجاه أسطح الطبقات . وتشتهر مغارة جعيتا فى لبنان بشيوع تكوين الأعمدة الجيرية الصاعدة والنازلة والكاملة ، هذا إلى جانب رواسب المياه الجيرية (الترافيرتين) والغرين الجيرى التى تنتشر فوق أراضيها ، وتتشكل جدران المغارة كذلك بألوان متعددة خلابة تبعا للعمليات الكيميائية المختلفة التى يتعرض لها الصخر الجيرى . وتتجمع المياه الجوفية داخل المغارة ومن ثم يرتفع منسوبها خلال فصل الشتاء (الفصل الممطر) ثم تنساب المياه على شكل مجارى نهرية جوفية تخترق الشقوق الصخرية وتخرج من المغارة السفلية إلى باطن الصخور الجيرية إلى أن تصب فى النهاية فى حوض نهر الكلب . ويقل منسوب المياه الجوفية فى المغارة خلال فصل الصيف ، ومن ثم تفتح كل من المغارة العلوية والسفلية أبوابهما للسياح والوافدين لهما خلال ذلك الفصل .

وحيث إن أظهر الأقاليم الجيرية فى العالم هو إقليم الكارست الجيرى فى يوغسلافيا ، لذا يحسن الإشارة باختصار إلى أهم الخصائص الجيومورفولوجية لهذا الإقليم (شكل ١١٣) .

يمتد نطاق الكارست فى شرق بحر الأدرياتيك بأراضى يوغسلافيا من مدينة «تريست» فى الشمال إلى مونت نجرو *Montenegro* فى الجنوب ،



(لوحة ١١٣) المظهر الجيومورفولوجي العام لبعض أجزاء من إقليم الكارست اليوغسلافي

مسافة يبلغ طولها نحو ٤٥٠ ميلا ، ويبلغ عرض هذا النطاق الجيرى فى بعض المناطق نحو ١٠٠ ميلا . وتتألف صخور هذا الإقليم من طبقات جيرية مرتفعة المسامية ومنفذة للمياه ، وهائلة السمك كذلك . وقد تعرضت هذه الطبقات إلى حركات الرفع التكتونية فى الزمن الثالث مما أدى إلى ثنى الطبقات وتكوين بعض الثنيات الصخرية المحدبة والمقعرة فى مناطق متفرقة من الإقليم . ومن دراسة المظهر الجيومورفولوجى العام للإقليم تبين أن فعل عوامل التعرية المختلفة كان مصاحبا لحركات الرفع التكتونية منذ بداية أواسط الزمن الثالث ، ولكن اشتد فعلها خلال عصر البلايوستوسين تبعا لارتفاع الرطوبة وازدياد كمية الأمطار الساقطة .

أما من ناحية الحياة النباتية فى إقليم الكارست فتكاد تكون معدومة ، ولا يرجع السبب فى ذلك إلى عدم كفاية كمية الأمطار الساقطة فى تكوين حياة نباتية ، ولكن يرجع إلى فقر التربة أحيانا أو عدم وجودها أحيانا أخرى . كما

أنه بمجرد سقوط الأمطار فوق أجزاء الإقليم تتسرب مياهها فى جوف الصخور عن طريق الفرغات والمسام الواسعة والشقوق الكثيفة . وان تمثلت بعض الحياة النباتية فهذه تقتصر على أجزاء منعزلة متناثرة خاصة فوق أسطح الحفر أو الانخفاضات المروحية وفى بعض أجزاء من الأحواض الجبلية *Intermountain Basins* . ويمكن القول أن الوديان الطولية الجيرية *Poljes* فى إقليم الكارست الجيرى تعد أخصب المناطق التى يمكن استغلالها فى الأغراض الزراعية فى مثل هذه المناطق المجدبة ولذا يتركز السكان فى هذه الوديان ، وتنتشر فيها بعض المراكز العمرانية الصغيرة الحجم ، ويعد نطاق الكارست الجيرى اليوغوسلافى الفقير المجدب الوعر عبارة عن حدود طبيعية فصلت بين أراضى حوض الدانوب الخصبة شمالا والساحل اليوغوسلافى الجيرى الجبلى فى الجنوب الغربى .

وتتمثل فى أجزاء هذا الإقليم معظم إن لم يكن كل الظاهرات الجيومورفولوجية التى تتكون عادة فى الصخور الجيرية . وأظهر هذه الظاهرات انتشارا فى هذا الإقليم تشمل الانخفاضات الدائرية والمروحية الشكل *Dolines* والأنهار المفقودة *Lost Rivers* والأودية السطحية الجافة *Dry Valleys* التى تنتشر فى مساحة واسعة خاصة إلى الغرب من كارلشتد *Kalstadt* فيما بين هورنفالد *Hornwald* شمالا وبجيلا لزيكا *Bjela Lazica* جنوبا ، ويتميز هذا الإقليم الأخير كذلك بكثرة الينابيع والبالوعات الجيرية .

الباب الخامس

جيومورفولوجية السواحل

والسهول التحاتية

الفصل الثامن عشـــر : فعل البحر .

الفصل التاسع عشـــر : السهول التحاتية .

الفصل الثامن عشر

فعل البحر

كل سواحل (١) البحر الحالية ما هى الا نتاج التطور الذى حدث ومازال يحدث نتيجة لتقدم البحر أو تقهقره عن الأرض المجاورة له . فيؤدى ارتفاع مستوى سطح البحر أو انخفاض الأرض إلى انغمار أجزاء كبيرة من ظاهرات سطح الأرض والتى قد تكون نشأت أصلا بفعل عوامل التعرية الهوائية الأخرى . وانغمار الأرض تحت مياه البحر بهذا الشكل يساعد على تكوين «سواحل» بحرية تتشكل بالخلجان *Bays* والمضايق البحرية *Estuaries* والفيوردات *Fjords* والمعابر الأرضية *Straits*. وقد يفصل بين هذه الظاهرات المختلفة أشباه الجزر الأرضية . وعلى طول السواحل السهلية المنغمرة *Coasts of Submergnce* قد تنشأ كذلك خلجان واسعة الامتداد مثل خليج استراليا الكبير فى جنوب أستراليا وخليج هدسن فى شمال قارة أمريكا الشمالية أما اذا انخفض منسوب سطح البحر أو ارتفع سطح اليابس والرفارف القارية *Continental Shelves* المجاورة أو كليهما معا فينجم عن هذه العملية تقهقر

---

(١) يقصد بالساحل Coast خط إلتقاء مياه البحر بأراضى اليابس Coast line أما الشاطئ Shores أو «البلاج» Beach فهو عبارة عن الأراضى السهلية الساحلية التى تقع مجاورة لخط الساحل ويتوقف إتساعها العرضى حسب درجة الإنحدار العام لأرضية الشاطئ صوب البحر ومقدا ر منسوبه . فالشاطئ قد يكون محدود الاتساع فى السهول الساحلية الجبلية حيث تشرف الجروف البحرية على البحر مباشرة ويكون أكثر اتساعاً فى حالة السهول الساحلية المستوية السطح ، ويتشكل الشاطئ مباشرة بتأثير الأمواج والمد والجزر . ويطلق على أجزاء الشاطئ التى تتشكل باختلاف ارتفاع مستوى سطح البحر تبعا لتأثير فعل المد والجزر اسم الشواطئ الأمامية Fore shores بينما تلك التى تمتد فيما وراء هذه المناطق وتنحصر بينها من جهة وبين الجروف البحرية من جهة أخرى فيطلق عليها تعبير الشواطئ الخلفية Back shores وقد يستخدم البعض تعبير الساحل Coast ليدل على نفس مدلول تعبير الشاطئ Shore والعكس كذلك.

أو تراجع البحر خلفيا ، وظهور أراضى جديدة تضاف إلى اليابس كانت تمثل من قبل أجزاء من قاع البحر ، وكثيرا ماتتغطى ، هذه الأراضى الجديدة (خاصة اذا كانت حديثة العمر الجيولوجى) بكميات هائلة من الرواسب البحرية ، ويطلق عليها تعبير السواحل البحرية المرتفعة *Coasts of Emergence*

وتجد الاشارة إلى أن منسوب سطح البحيرات الكبرى على اليابس قد يتذبذب من وقت إلى آخر ، وقد ينجم عن ذلك تشكيل سواحل هذه البحيرات بظاهرات جيومورفولوجية تشبه تلك التى تتكون على طول السواحل البحرية . وعلى سبيل المثال تعرض منسوب مياه بحيرة كيفو *Civu* للارتفاع التدريجى فى عصر الأيوسين نتيجة لتراكم كميات هائلة من اللافا والمصهورات البركانية فى قاع البحيرة ، وعلى ذلك غطت المياه الأراضى المجاورة لشواطئ البحيرة ، وتشكلت سواحل بحيرة كيفو ببعض الظاهرات الجيومورفولوجية التى تتكون عادة على طول السواحل البحرية المنخفضة . أما اذا تعرض سطح البحيرة للانخفاض التدريجى كما يحدث ذلك فى بحيرة سولت ليك *Great Salt Lake* فى ولاية يوتاه بالولايات المتحدة الأمريكية تبعا لزيادة كمية المياه المفقودة من البحيرة بالتسرب والتبخر عن تلك المكتسبة من التساقط أو من المياه التى تصبها الأنهار ، فتساعد هذه العملية على تكوين شواطئ بحيرية مرتفعة ، تظهر على شكل مدرجات بحيرية وتتغطى بعض أجزائها بالرواسب البحيرية . وتتمثل هذه الحالة فى المدرجات البحيرية بإقليم الفيوم التى نتجت تبعا لانخفاض مستوى سطح مياه بحيرة قارون واستمرار انكماشها التدريجى منذ نهاية البلايوستوسين حتى الوقت الحاضر.

العوامل التى تؤثر فى تشكيل الظاهرات الجيومورفولوجية الساحلية

إلى جانب اختلاف نشأة سواحل البحار وأثر ذلك فى اختلاف أشكالها ومزاياها الجيومورفولوجية تتنوع ظواهرها من حيث الشكل والحجم والتوزيع الجغرافى تبعا لما يلى :

١ - تأثير فعل المد والجزر والأمواج (كعامل نحت ونقل وارساب) والتيارات البحرية (كعامل نقل) .

٢ - خصائص الساحل واختلاف تكوينه الصخرى .

ويحسن قبل دراسة بعض الظاهرات الجيومورفولوجية الساحلية أن نشير إلى أثر فعل هذه العوامل السابقة التى تلعب دورا كبيرا فى تشكيل سواحل البحار والمحيطات .

أولا : تأثير فعل كل من المد والجزر والأمواج والتيارات البحرية :

يعتبر المد والجزر ارتفاع وانخفاض وقتى فى مستوى سطح البحر وتحدث هذه العملية فى بعض البحار مرة كل ١٢ ساعة و٢٦ دقيقة ، وتنشأ حركة المد والجزر بسبب قوة جذب القمر والشمس لكوكب الأرض . وعلى الرغم من كبر حجم الشمس وعظم كتلتها بالنسبة للقمر إلا أن قوة جذب الشمس لمياه البحار والمحيطات على كوكب الأرض ضعيفة إذا ما قورنت بقوة جذب القمر لها ، ذلك لأن الأخير أقرب إلى الأرض من الشمس بكثير ، فتعوض طول هذه المسافة القصيرة تباين اختلاف الحجم ، حيث تضعف قوة جاذبية الشمس لبعدها النسبى عن الأرض . وقد استنتج الأستاذ استرهلر *N. Strahlers* عام ١٩٦٢ بأن قوة جاذبية الشمس تعادل نحو ٥/١١ من قوة جاذبية القمر لمياه البحار والمحيطات على الأرض (١) .

وقد تبين أن قوة الجذب بين القمر والأرض تقل بسرعة كلما بعد الكوكبان عن بعضهما البعض. وعلى ذلك عندما يواجه القمر كوكب الأرض ، فإن الجزء الذى يواجه القمر تشتد عنده قوى الجذب نحو القمر تبعا لاقترابه نسبيا من مركز القمر إذا ما قورن بأى جزء آخر بالقرب من مركز الأرض . فعلى جانب الأرض المواجه لسطح القمر تزيد قوة الجذب عن قوة الطرد المركزية ،

---

(١) للدراسة التفصيلية راجع : حسن أبو العينين «دراسات فى جغرافية البحار والمحيطات» بيروت ١٩٦٧ ص ٢٠١ إلى ص ٢١٧ والطبعة الثامنة - الاسكندرية ١٩٨٩ .

وينجم عن ذلك جذب مياه سطح الأرض نحو القمر . أما على الجانب المضاد لموقع القمر ، فتزيد قوة الطرد المركزية عن قوة الجذب ، ومن ثم يحدث أيضا جذب المياه أو شدها بعيدا عن موقع القمر .

وعلى ذلك إذا اعتبرنا :

م = المسافة بين مركز الأرض ومركز القمر .

ك = كتلة القمر .

نق = نصف قطر الأرض .

$ك_1$ = كتلة أى جسم على سطح الأرض .

فيلاحظ أن السطح المواجه للقمر ينجذب بقوة نحو القمر حيث أن [1] :

$$\frac{\text{ك ك}_1}{(\text{م} - \text{نق})^2} \quad \text{أكبر من} \quad \frac{\text{ك ك}_1}{\text{م}^2}$$

(أى أن قوة جذب القمر لكتلة جسم على سطح الأرض تجاه أكبر قوة جذب القمر لكتلة جسم آخر يقع عند مركز الأرض) .

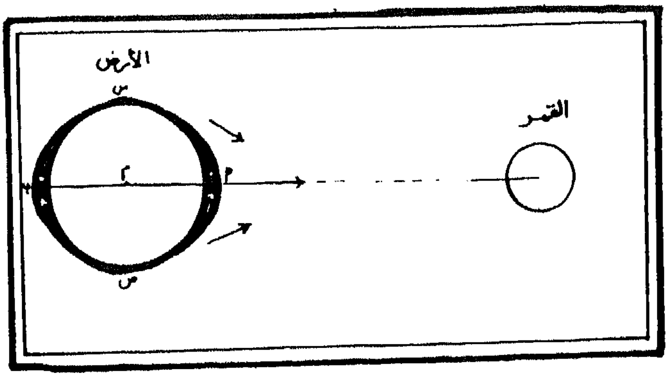
أما المسطحات المائية على الجانب الآخر من الأرض والمضاد لموقع القمر فتنبعج هي الأخرى إلا أن هذا الانبعاج يكون في عكس اتجاه موقع القمر حيث أن :

$$\frac{\text{ك ك}_1}{\text{م}^2} \quad \text{أكبر من} \quad \frac{\text{ك ك}_1}{(\text{م} + \text{نق})^2}$$

ويتضح من دراسة (شكل ١١٤) ، أن المياه المتجمعة عند منطقة «أ» تنجذب إلى القمر بقوة أكبر من تلك الواقعة عند مركز الأرض م . وتبعا لبعد المسافة

---

(١) للدراسة التفصيلية راجع حسن أبو العينين ،دراسات في جغرافية البحار والمحيطات، بيروت ـ ١٩٦٧ .



(شكل ١١٤) عملية المد والجزر

بين القمر ونقطة ب عنها بالنسبة لمركز الأرض فى نقطة م فإن المياه عند نقطة ب ، تنسحب بنفس القوة تقريبا التى تتمدد المياه بها فى منطقة «أ» ولكن لا تعزى عملية المد فى مياه منطقة «ب» إلى أثر شدة قوة جذب القمر ، بل ترجع إلى ازدياد قوة الطرد المركزية عن قوة الجذب . أما المسطحات المائية عند منطقتى س ، ص ، فلا تتأثر كثيرا بفعل المد والجزر ولكن عند حركة دوران القمر اليومية حول الأرض تتغير قوة المد والجزر من مكان إلى آخر .

يتضح مما سبق أن تأثير جذب الشمس للمياه على سطح الكرة الأرضية يعد تأثيراً ضعيفا نسبيا إذا ما قورن بتأثير جذب القمر ، ولكن حين يقع القمر والشمس والأرض على استقامة واحدة كما يحدث ذلك فى حالتى المحاق والبدر ، فإن قوة المد والجزر تبلغ أقصى ذروتها ، ويطلق على المد فى هذه الحالة تعبير المد العالى *Spring Tides* أما إذا وقع كل من الشمس والقمر بالنسبة لكوكب الأرض على ضلعى زاوية قائمة ، رأسها مركز الأرض ، فإن تأثير جذب القمر أقل منه فى حالة المد العالى ، إلا أنه أعلى من تأثير الشمس ، ومن ثم تعمل الأخيرة على تخفيف حدة ارتفاع منسوب المد ويطلق على المد فى هذه الحالة تعبير المد المعتدل *Neap Tides* (١) .

ولا يتعدى تأثير المد والجزر فى البحار المفتوحة والمحيطات سوى بضعة

(1) A. Holmes. "Principles of geolgy" London 1959, p. 279.

أقدام ، بينما فى البحار الضحلة والمغلقة فإن تأثير المد والجزر قد يؤدى إلى ارتفاع أو انخفاض وقتى فى سطح البحر بمعدل ٢٠ قدما . وتساعد هذه العملية على توليد تيارات المد والجزر المحلية *Tidal Currents*. ففى القنال الانجليزى ، مثلا يعقب حدوث المد والجزر تكوين تيارات مد بحرية تبلغ سرعتها ميلين فى الساعة أما فى خليج برستل فقد تتكون تيارات مد بحرية تبلغ سرعتها نحو عشرة أميال فى الساعة وذلك فى حالة حدوث المد العالى الذى يؤدى إلى ارتفاع منسوب المياه بمعدل ٤٢ قدما . وفى أثناء حدوث المد العالى تتجمع المياه بقوة فى الخلجان الضحلة الضيقة ، وينجم عن ذلك تلاطمها بشدة فى صخور الساحل المجاور وتكوين الأمواج المرتفعة وعلى ذلك تنقل الرواسب الصخرية من الساحل إلى داخل البحر ، وغالبا ما ينقل الحصى والزلط بفعل تلاطم الأمواج إلى الداخل (خاصة فى الخلجان التى لا تصب فيها أنهار كبيرة) ويترسب على المنحدرات العليا للرفارف القارية ، بينما تتجمع الرمال على خط الساحل نفسه وتكون السواحل الرملية .

وتنشأ فى البحار كذلك تيارات مائية رأسية وذلك تبعا لاختلاف كل من درجة حرارة ونسبة ملوحة المياه وكثافتها من مكان إلى آخر . تتوقف هذه الخصائص الطبيعية والكيميائية للمياه على الآتى (١) :

(أ) مقدار الأشعة الشمسية الساقطة تبعا لاختلاف تعامدها على سطح مياه البحر .

(ب) كمية التبخر التى تؤثر فى كل من نسبة الملوحة وكثافة المياه .

(جـ) مقدار الرواسب وكمية التساقط وانصهار الجليد التى تؤثر فى اختلاف نسبة الملوحة فى البحار .

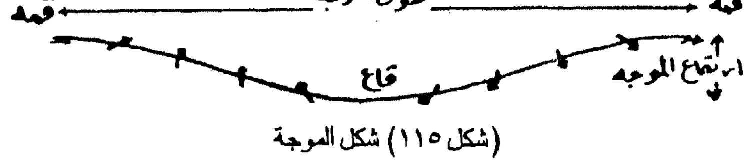
وتبعا للتبخر الشديد الذى يتعرض له سطح مياه البحر المتوسط ، ينخفض

---

(١) للدراسات التفصيلية راجع : حسن أبو العينين «دراسات فى جغرافية البحار والمحيطات» بيروت ١٩٦٧ - الطبعة الثامنة - الاسكندرية ١٩٨٩ .

منسوب سطح البحر ، وبالتالى زيادة كثافة المياه فيه . وفى ضوء اختلاف ملوحة المياه وكثافتها فى كل من البحر المتوسط من ناحية والمحيط الأطلسى والبحر الأسود من ناحية أخرى ، تنساب المياه على شكل تيارات بحرية سفلية ذات ملوحة وكثافة مرتفعة من البحر المتوسط وتتجه إلى المحيط الأطلسى وتيارات بحرية سطحية أقل ملوحة وكثافة من المحيط الاطلسى وتتجه الى البحر المتوسط. وتتولد كذلك تيارات سفلية ذات ملوحة مرتفعة فى بحر إيجه تندفع نحو البحر الأسود ، ويقابلها تيارات سطحية أقل ملوحة من البحر الأسود إلى بحر إيجه وتتكرر نفس الحالة كذلك إذا ما درسنا العلاقة بين كل من مياه البحر الأحمر الشديدة الملوحة المرتفعة الكثافة ومياه المحيط الهندى الأقل ملوحة وكثافة . ومن ثم تعد التيارات البحرية السطحية جزءا من الدورة العامة لحركة المياه فى البحار تبعا لاختلاف كثافتها وتنتقل من المسطحات المائية الأعلى كثافة إلى تلك الأقل منها كثافة .

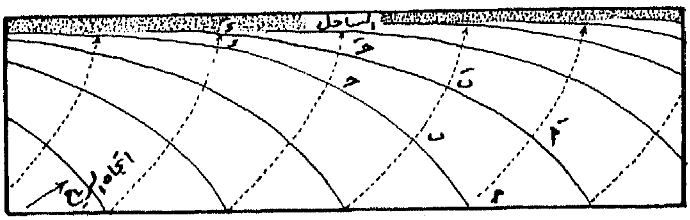
وإلى جانب تأثير المد والجزر والحركات الفجائية الزلزالية والبركانية فى نشوء حركة الأمواج المرتفعة فإن تكوين الأخيرة مرجعه أساسا أثر فعل احتكاك الرياح التى تهب فوق سطح المياه . وبالتالى يتموج سطح البحر بفعل الرياح وترتفع المياه وتزداد سرعة حركتها تبعا لاختلاف سرعة الرياح . ويقصد بارتفاع الموجة طول المسافة الرأسية بين قمة الموجة وقاعها (شكل ١١٥) . أما طول الموجة ، فيقصد به المسافة الأفقية الممتدة بين قمتين أو باطنين (قاعين) لموجتين متجاورتين . ويقاس ارتفاع الموجة فى المملكة المتحدة بالأقدام بالنسبة لسرعة الرياح بالأميال فى الساعة . ومتوسط ارتفاع الأمواج فى البحار والمحيطات يتراوح فيما بين ٥ إلى ١٥ قدما ، وقد يزداد فيما بين ٤٠ إلى ٥٠ قدما خاصة أثناء حدوث العواصف ، ويتراوح طول



(شكل ١١٥) شكل الموجة

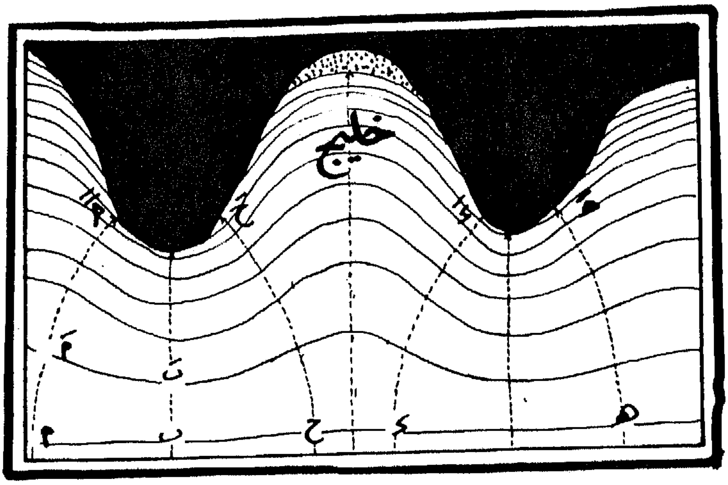
الموجة من ٢٠٠ إلى ٧٠٠ قدم وسرعتها من ٢٠ إلى ٦٠ ميلا فى الساعة . وتتحرك الأمواج فى حركة دائرية أشبه بحركة التروس ومن ثم تحرك الأمواج المياه المجاورة لها رأسيا وأفقيا فى حين تبقى هى فى موقعها ومن ثم لا تندفع الأمواج بعيدا عن خط الساحل .

وتتأثر سرعة الأمواج تبعا لاختلاف أعماق المياه التى تكونت فيها . فإذا نشأت فى مياه بسيطة العمق نسبيا . فتأخذ الأمواج الأمامية فى التقهقر ، وبالتالى يقل طول الموجة . وعلى ذلك فعندما تتقارب الموجة من ساحل ممتد امتدادا عرضيا وتتكسر على خط الساحل (شكل ١١٦) ، فإن قمة الموجة تكاد تكون موازية لامتداد الشاطئ . أما إذا تقاربت الأمواج من ساحل يتميز بكثرة



(شكل ١١٦) تكسر الموجة على السواحل المستقيمة الامتداد

الانحناءات تبعا لتشكيله بواسطة الخلجان فإن الأمواج تتقدم بسرعة فى الخلجان ذات المياه العميقة بدرجة أشد من تقدمها فى المياه الضحلة وعلى ذلك فإن قمة الموجة من أ إلى أَ أكبر منها من ب إلى بَ (شكل ١١٧) فعندما تتكسر موجة مثل أ ج أو أخرى مثل د هـ على خط الساحل ، فإنها تصل إلى هذا الساحل فى مسافة أقصر تبعا لتكسرها على بروز الساحل عند نقط جَ أَ ، دَ هـَ . بينما تصل طرف الموجة عند جـَ دَ إلى الساحل عند الخليج فى المياه العميقة بعد أن تقطع مسافة أطول نسبيا ، وهى تلك المحصورة بين جَ ، دَ . وعندما تضعف سرعة الموجة وتصبح كمية المياه ، فى مقدمة الموجة غير كافية لكى تتم دورة الموجة بينما لازالت تتحرك المياه من مكان إلى آخر فتبدو قمة الموجة ضعيفة ومنخفضة ، وتظهر على شكل تموجات مائية سطحية بسيطة .



(شكل ١١٧) تكسر الموجة على السواحل التى تكثر بها الخلجان

ثانيا : شكل الساحل واختلاف تركيبه الصخرى :

لا يتوقف تنوع الظاهرات الجيومورفولوجية الساحلية على أثر فعل عوامل التعرية فى صخور السواحل فقط ، بل أن لمظهر السواحل واختلاف نشأتها وأشكالها وتركيبها الصخرى أثره فى تحديد نوع عوامل التعرية المختلفة ومدى فعلها وتنظيم عملها ، هذا بالاضافة إلى العلاقة بين اتجاه خط الساحل نفسه *Orientation of the coast* وكيفية تكسر الأمواج عليه .

ويعتبر عامل اختلاف التكوين الصخرى *Lithological Variation* من بين أهم هذه العوامل جميعا التى تؤثر فى تشكيل المظهر الجيومورفولوجى العام لخط الساحل . فإذا كانت الجروف البحرية التى تشرف على خط الساحل تتألف من طبقات صخرية صلبة متعاقبة فوق طبقات صخرية لينة ، وأن هذه الصخور تمزقت وتشققت بفعل الفوالق والشقوق الكثيفة *Heavily Cracked and Jointed* فتتآكل الصخور اللينة بسرعة بفعل تكسر الأمواج وتلاطمها ، وسرعان ما تنزلق الكتل الصخرية أو تنهار وتتساقط من أعالى الجروف البحرية لتقدم إلى البحر رواسب قارية جديدة تتجمع فوق أرضية قاعه . ويشتد فعل التعرية وتتآكل الجروف البحرية بسرعة إذا كانت المادة

اللاحمة لصخور هذه الجروف ضعيفة التماسك ، كما هو الحال فى معظم أجزاء سواحل كل من شرق انجلترا وصسكس *Suesex* وهامبشير *Hamphsire* حيث تتعرض جروف هذه السواحل لفعل التعرية البحرية وتنهار صخورها بسرعة لأنها تتألف من صخور بلايوسينية وبلايوستوسينية غير متماسكة .

ولكى ندرك مدى سرعة التعرية البحرية على طول السواحل الشرقية لانجلترا فقد أوضح الأستاذ ستيرز *Steers, 1955* [١] بأن مقدار التراجع الخلفى لساحل إقليم هولد رنس *Holdrness* فى شرق إنجلترا ، بلغ نحو ٢١٥ قدما فى نحو ٣٧ عاما ، أو ما يعادل تراجع خط الساحل بنحو ستة أقدام سنويا . وتتراجع السواحل خلفيا بسرعة ملحوظة ، إذا كانت تتألف صخورها من الغبار والرماد البركانى الرخو الضعيف التماسك *Soft Volcanic Ash* كما هو الحال بالنسبة لسواحل جزيرة كراكاتوا *Krakatoa* (فيما بين سومطرة وجاوة) وقدر الأستاذ أمجروف *Umbgrove* فى عام ١٩٥٤ أن هذا الساحل يتراجع فى بعض أجزائه بمعدل ١٠٠ قدما سنويا خاصة عند السواحل التى تتألف من الرماد البركانى الضعيف التماسك . واذا استمر فعل الأمواج فى تفتيت صخور الساحل فلابد وأن تنقل هذه المفتتات بعيدا عن أقدام الجروف البحرية . أما إذا لم تستطع الأمواج وحركة تيارات المد والجزر والتيارات البحرية على حمل هذه المفتتات ، بالتالى تكوّن الأخيرة حاجزا حصويا يعرقل فعل نحت الأمواج وتخفيف مدى هدمها لصخور الساحل .

وإذا كانت الجروف البحرية *Cliffs* تتألف من طبقات صخرية لينة تقع أسفل طبقات صخرية صلبة ، فقد يساعد هذا التكوين الجيولوجى على حدوث عمليات الانزلاق الأرضى *Landslides* والتى تساعد بدورها على تراجع الجروف البحرية واستمرار تآكلها بفعل التعرية البحرية ، وتتمثل هذه الحالة واستمرار تآكلها بفعل التعرية البحرية ، وتتمثل هذه الحالة فى بعض أجزاء

---

(1) Steers. J. A., "The sea coast". London 1953.

من السواحل الجنوبية لانجلترا وكذلك فى بعض أجزاء من ساحل منطقة سيتون *Seaton* فى دفون شير *Devonshire* بانجلترا . أما إذا كانت صخور الجروف البحرية تتميز بصلابتها وعدم مساميتها ، وأن المادة اللاحمة لجزيئات هذه الصخور شديدة التماسك ، يقل بالتالى أثر فعل الأمواج فى تعرية صخور الساحل . ولكن مع هذا يستمر فعل التعرية ويظهر واضحا على طول مناطق الضعف الجيولوجى التى تتمثل عادة فى فتحات الشقوق والفوالق وأسطح الصدوع . وبمرور الزمن تتسع فتحات الفوالق بفعل التعرية البحرية وتكون فجوات داخلية عميقة فى جوف الصخر .

يتضح من هذا العرض أن البحر يقوم بعدة عمليات مختلفة يشكل فيها الظاهرات الساحلية من جهة ، وأرضية قاعه من جهة أخرى . وتبعا لاختلاف مستوى البحر وتذبذبه خلال العصور الجيولوجية المختلفة ، أدى ذلك إلى اختلاف أشكال البحار واتجاهات امتدادها واستمرار عمليات الصراع والنزاع بين اليابس والماء فى تشكيل سطح هذا الكوكب . وتقوم المياه نفسها وكذلك الأمواج التى تحدث فيها بفعل الهدم أو النحت وينجم عن ذلك تكوين ظاهرات جيومورفولوجية متنوعة تشكل المظهر العام لساحل البحر . وتعمل الأمواج على نقل مفتتات صخور الشاطئ إلى أعماق المحيط حتى يترسب معظمها فوق أرضية كل من الرفرف والمنحدر القاريين ومن ثم ينجم عن حركة المياه الدائمة توزيع الارسابات وانتشارها فى الأعماق المختلفة للبحار تبعا لحجم حبيبات هذه الرواسب من جهة والمصدر الذى تحللت أو تفتت منه من جهة أخرى . وفى الأعماق البعيدة يتشكل قاع المحيط برواسب الأووز *Ooze* الدقيقة الحجم .

وفيما يلى عرض موجز عن أثر فعل البحر كعامل هدم ونقل وارساب ، والأنواع الرئيسة الكبرى للشواطئ البحرية .

أولا : التعرية البحرية وأثرها فى تشكيل الظاهرات الجيومورفولوجية الساحلية

يقوم البحر بتعرية صخور الشاطئ بعدة وسائل مختلفة أهمها :

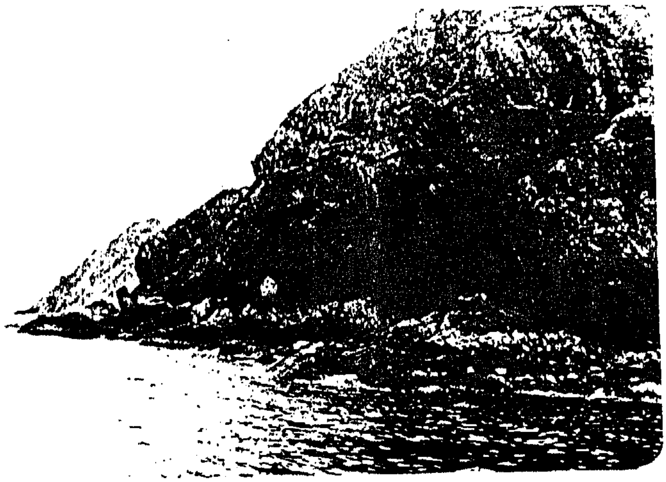
(أ) الفعل الهيدرولوجى : أى فعل المياه نفسها فى صخور الشاطئ الذى تلامسه أحيانا وتصطدم به بقوة أحيانا أخرى . وتعمل المياه على اكتشاف مناطق ضعف جيولوجية فى الصخر خاصة إذا كانت تغطى الصخور لفترة ما ثم تنحصر عنها فى فترة أخرى . ومن ثم يتشكل الصخر ويتفتت إلى جانب فعل المياه بأثر فعل توالى عمليات التبلل والجفاف *Wetting and Drying* .

(ب) فعل الأمواج وتيارات المد والجزر وحركة المياه : وقد سبقت الاشارة إلى أهمية عامل الأمواج الشديدة العالية فى نحت صخور الشاطئ وتفتيته خاصة أثناء المد العالى أو حدوث العواصف القوية . وقد تتأثر صخور الشاطئ كذلك بأثر فعل كل من تيارات المد والجزر وكلها عوامل تؤدى إلى اضعاف الصخر جيولوجيا (لوحة ٥٧ ولوحة ٥٨) وتكوين حفر وثقوب فيه أو انفصال أجزاء من صخور الحافة وتصبح بقاياها على شكل شواهد صخرية بحرية منعزلة (صخور عش الغراب) .

(جـ) عامل الجر *Attrition* : تنقل المواد التى تندفع من اليابس وصخور الشاطئ إلى جوف البحر ، وأثناء عملية نقلها يتدحرج كثير منها فوق أرضية او قاع البحر ومن ثم تعمل على تآكل هذا القاع وتعريته خاصة فى الأجزاء القريبة من خط الساحل .

(د) التجوية الكيميائية : قد تتكون الجروف البحرية من صخور جيرية، وعندما تتعرض بعض أجزاء من هذه الصخور لفعل مياه البحر ، يزداد نشاط فعل التجوية الكيميائية فى الصخور وتتحلل موادها ومعادنها تدريجيا .

ويتلخص أثر فعل البحر كعامل من عوامل التعرية وتشكيله ببعض الظاهرات الجيومورفولوجية الساحلية فيما يلى :



(لوحة ٥٧) حفرة بحرية فى تكوينات الجابرو بالجروف البحرية لجبل خورفكان - الساحل الشرقى لدولة الامارات - تصوير الباحث -

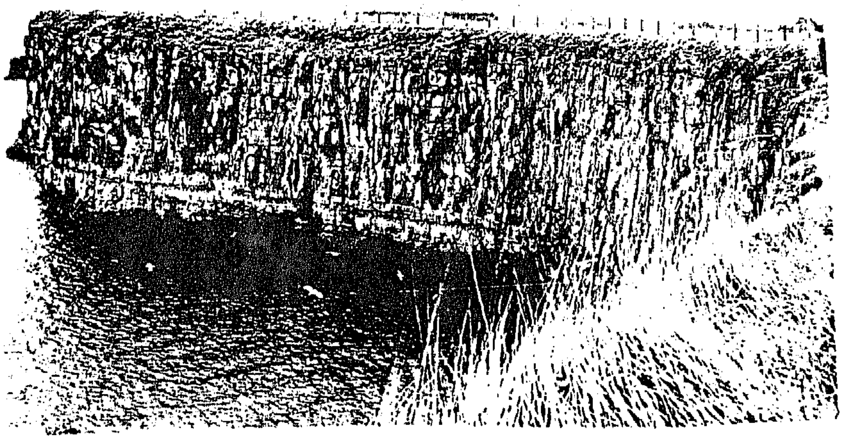


(لوحة ٥٨) شواهد صخرية بحرية (صخور عش الغراب) انفصلت عن الجروف البحرية المجاورة بفعل الأمواج (الساحل النرويجى شمال برجن بنحو ٩٠ كم)

١- الجروف البحرية : *Marine Cliffs*

تتكون الجروف البحرية تبعا لاختلاف التركيب الصخرى خاصة فى المناطق التى تتألف من صخور صلبة متعاقبة فوق صخور لينة ، وتعمل الصخور الصلبة على مقاومة فعل التعرية نسبيا وكثيرا ما تظهر على شكل جروف بحرية عالية شديدة الانحدار كما قد تتكون هذه الجروف تبعا لانخفاض مستوى سطح البحر وتراجعه خلفياً عن أرض اليابس . وتمثل الجروف فى هذه الحالة شواطئا للبحر القديم أو قد تتكون تبعا لحدوث حركات رفع تدريجية فى اليابس المجاور للساحل ، حيث ترتفع الأرض نسبيا ، ويتآكل الصخور اللينة السفلى ، تبدو الصخور العليا على شكل حوائط صخرية عالية .

ومن بين أهم ما يميز الجروف البحرية امتدادها فى اتجاهات موازية لخط الساحل وقد يفصل بينها أودية حوضية أو مدرجات سهلية ، مستوية السطح . كما تبدو قاعدة الجروف البحرية على منسوب متشابه فيما بين أجزائها تقريبا . وإذا كانت حديثة العمر فتظل هذه الجروف على شكل حوائط صخرية شديدة الانحدار و لا تقطعها الأودية النهرية الجبلية كثيرا ، كما قد تتغطى ببعض الرواسب والكائنات البحرية (لوحة ٥٩) .



(لوحة ٥٩) الجروف البحرية الرأسية الشكل والمطلة على البحر مباشرة

ويؤثر البحر فى تشكيل المظهر الجيومورفولوجى العام للجروف البحرية خاصة إذا كانت تتركب من صخور لينة رخوة أو صخور صلبة متعاقبة فوق صخور أخرى لينة . وتعمل الأمواج بما تسببه من ضغط شديد فوق أسطح الصخور على تآكلها واضعافها جيولوجيا . وقد أكدت الدراسات الجيولوجية أن قوة الضغط على أسطح الجروف البحرية والناتج عن فعل أمواج المحيط الأطلسى تبلغ نحو ٦٠٠ رطل لكل قدم ٢ خلال فصل الصيف ، بينما تشتد قوة الأمواج فى الشتاء وتبلغ نحو ٢٠٠٠ رطل لكل قدم ٢ . وعلى ذلك تستطيع الأمواج العاتية تعرية كل ما يقف فى طريقها سواء أكان ذلك جروفا صخرية أو جدرانا بحرية *Sea-Walls* . وتعمل هذه الأمواج على اكتشاف مناطق الضعف الجيولوجية فى الجدران والجروف الصخرية البحرية ، ثم توسيع فتحات الشقوق والفوالق بها . وتكوين فجوات جانبية فيها وقد تتكون فيها بعض الكهوف البحرية (لوحة ٦٠) وعندما تتآكل الصخور اللينة السفلى أو تتسع الفجوات الجانبية فيها تبعا لاتساع الشقوق ، يختل توازن الطبقات الصخرية العليا ، وتتعرض لعمليات السقوط *Falling* والانزلاق الأرضى *Landslides* .



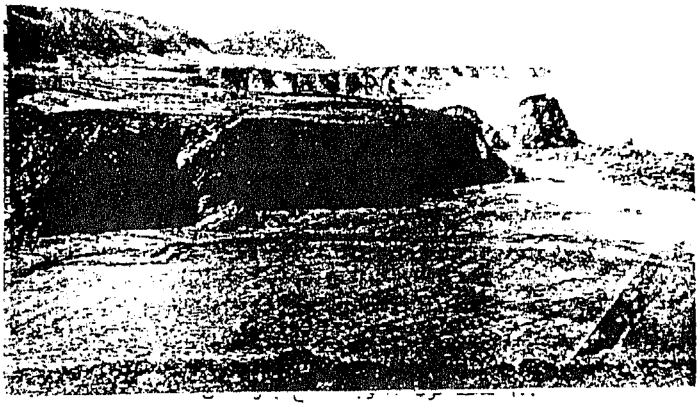
(لوحة ٦٠) جروف بحرية تكون فيها كهف بحرى
ويقع تحت أقدامها مصطبة بحرية على ارتفاع ٢٥ قدما

وعلى ذلك تتميز الجروف البحرية التى تتألف من طبقات صخرية صلبة متعاقبة فوق طبقات صخرية لينة بعدم استقرارها ، واستمرار تراجعها خلفيا هذا بالاضافة إلى شدة انحدارها (أكثر من ٥٠°) وندرة تغطيتها بالنباتات الطبيعية ، وتتلخص أهم العوامل التى تؤثر فى مدى فعل تلاطم الأمواج على أسطح الجروف فيما يلى :

١ - خصائص التكوين الصخرى ومدى صلابة أو ليونة الصخر .
٢ - نظام بنية الصخور وترتيب طبقاتها .
٣ - مدى تأثر الصخور بكل من الشقوق والفوالق والصدوع التى تمثل مناطق الضعف الجيولوجية فى الصخر .
٤ - طبيعة المسام والفراغات الصخرية ، وكيفية مساهمتها فى انجاز عوامل التجوية الكيميائية وانفاذها للمياه داخل الصخر نفسه .
٥ - درجة انحدار أسطح الجروف والحوائط البحرية .
٦ - قوة الأمواج وسرعة تيارات المد والجزر .
٧ - عوامل خارجية قد تساعد على تعرية الجروف والحوائط البحرية وأهمها الرياح الشديدة المحملة بالغبار ، والأمطار الغزيرة ، وتكوين الأنهار الجبلية النشيطة *Gullies* ، وحدوث عمليات التساقط والانزلاق الأرضى .
٨ - طول الزمن الذى تعرضت خلاله هذه الجروف لفعل عوامل التعرية .

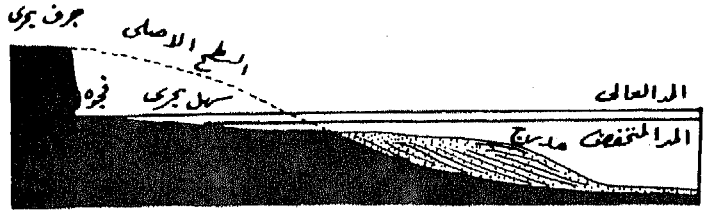
وتبعا لتعدد العوامل التى تؤثر فى تشكيل المظهر الجيومورفولوجى للسواحل ومدى تراجع الجروف والحوائط البحرية ، تنوعت الظاهرات الجيومورفولوجية على طول سواحل القارات واختلفت من جزء إلى آخر تبعا للظروف المحلية الخاصة بكل ساحل . وعندما يشتد فعل تراجع الجروف *Cliff Recession* خلفيا تترك أمامها أو بمعنى آخر تحت أقدامها مصاطب بحرية مستوية السطح (لوحة ٦٠) .

وإذا كانت هذه الأرصفة حديثة العمر ومحدودة الامتداد فقد تتغطى بمياه البحر خلال حدوث المد العالى ، ثم تظهر ثانية عندما تتراجع مياه البحر



(لوحة ٦١) جروف بحرية متراجعة ويقع السهل البحرى هنا على ارتفاع ١٠٠ قدم فوق منسوب سطح البحر الحالى

خلال حدوث الجزر . ولا يتوقف أثر الأمواج فى تعرية الأجزاء الضعيفة من الصخر فى الجروف والحوائط البحرية فقط ، بل تؤثر كذلك فى تشكيل المصاطب البحرية التى تمتد تحت أقدام الجروف وذلك بفعل اصطدام الحبيبات الرملية التى تحملها الأمواج القادمة والراجعة بصخور السهول البحرية . وحيث تتعرض الأجزاء الدنيا من السهل البحرى لفعل الأمواج بصورة أشد من الأجزاء العليا ، فهذا يؤدى الى ظهور أثر فعل تعرية الأمواج فى الأجزاء الدنيا من السهل البحرى قبل ظهورها فى الأجزاء العليا . وينتج عن ذلك انحدار سطح السهل البحرى انحدارا تدريجيا بسيطا صوب البحر (شكل ١١٨ ولوحة ٦١) .



(شكل ١١٨) تراجع الجروف البحرية واتساع السهول البحرية

ويشتد تراجع الجروف البحرية إذا كانت تتألف من صخور لينة ضعيفة التماسك وإذا كان فعل الأمواج شديدا ، بينما يضعف تراجع الجروف وتقل سرعته إذا كانت هذه الجروف تتركب من صخور صلبة شديدة التماسك ولم تتأثر كثيرا بالشقوق أو الفوالق أو الصدوع ، غير أنه بمرور الزمن لابد وأن تتراجع الجروف البحرية ولو بصور مختلفة ، ومن ثم تتسع السهول البحرية على حساب هذا التراجع . وعندما تصبح السهول البحرية قديمة العمر الجيولوجى ، تبعد عن مياه البحر ويرتفع منسوبها نسبيا ، ومن ثم قد لا تصل مياه البحر إلى الأطراف الهامشية أو الحديثة للسهول القريبة من أقدام الجروف ، ولا تتشكل كثيرا بفعل مياه البحر .

وعلى طول السواحل فى المناطق الباردة ، قد تستمر عملية تراجع الجروف البحرية ، نتيجة لتأثرها بفعل التعرية الهوائية النشيطة ، وتفتت صخورها تبعا لتعرضها لعمليات التجمد والانصهار *Freezing and Thawing Processes* . ويظهر فعل تعرية الأمواج فى الجروف البحرية طالما كانت هذه الأمواج قادرة فى نفس الوقت على نقل المفتتات الصخرية الساقطة من الجروف وارسابها بعيدا فى جوف البحر . أما إذا لم تستطع الأمواج نقل هذه المفتتات فقد يتكون جسر حصوى يحد من تأثير فعل الأمواج فى نحت صخور الشاطئ وتنتشر السهول التحاتية البحرية على طول سواحل النرويج خاصة الغربية والشمالية الغربية منها ، وأظهرها تلك التى تعرف باسم «شتراندفلات *Strandflat*» . وقد تكون سطح بحرى شمال مدينة برجن فى النرويج بلغ طوله نحو ٣٧ ميلا ، ولا تزال الجروف البحرية فى التراجع المستمر ، وعلى ذلك يتسع السهل البحرى على حساب تراجع هذه الجروف . ويتشكل السهل البحرى هنا بعدة ظاهرات جيومورفولوجية ساحلية تتكون بفعل المياه فى نحت صخور الشاطئ ومن بينها المسلات البحرية والأقواس والفجوات البحرية ، كما تشكله كذلك الفيوردات .

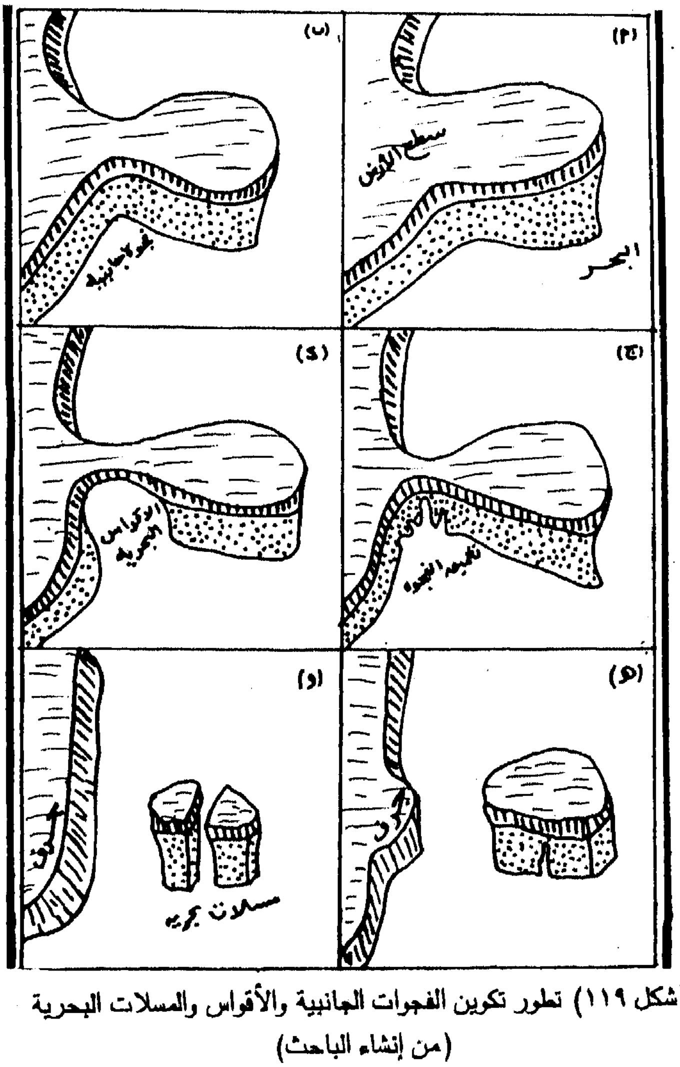
وعندما يتكون السهل البحرى والجروف البحرية من طبقات صخرية

ضعيفة التماسك ، فإن تعرية السهل البحرى وتراجع الجروف البحرية تتم فى وقت قصير وبصورة ملحوظة . ولكن فى نفس الوقت الذى تتعرض فيه مقدمة السهل البحرى للتآكل بفعل التعرية تضاف مساحات جديدة إلى الأجزاء العليا من السهل البحرى تبعا لتراجع الجروف البحرية . ومن أظهر أمثلة هذه السهول تلك التى تتمثل على طول سواحل يوركشير بانجلترا جنوب رأس فلمبره *Flamborough Heads* حيث عملت الأمواج على نحت مقدمات السهل البحرى وازالة الرواسب الجليدية التى كانت متجمعة فوقه ، وعلى شدة تراجع الجروف الصخرية البحرية . وقد أكد الأستاذ ستيرز *Steers* أن هذا الساحل الواقع فيما بين جنوب رأس فلمبره حتى رأس سبرن *Spurn Head* والذى يبلغ طوله نحو ٣٥ ميلا ، قد تراجع بنحو ثلاثة أميال منذ بداية العصر الرومانى حتى الوقت الحاضر ، وتتمثل الأدلة على هذا التراجع الحديث فى اضمحلال وانغمار كثير من القرى والمراكز السكنية . وقد أصبح متوسط تراجع الجروف خلال المائة سنة الأخيرة يتراوح من ٥ إلى ٦ أقدام فى السنة . وتجدر الاشارة إلى أن عمليات التراجع لا تتم بسرعة واحدة على طول أجزاء الجروف البحرية المختلفة ، كما أنها لا تتم بمعدل ثابت من عام إلى آخر ، حيث إن بعض أجزاء من الجروف تتراجع بسرعة عن أجزاء أخرى متجاورة لظروف محلية ، كما قد تتراجع الجروف البحرية بسرعة ملحوظة أثناء حدوث عاصفة واحدة شديدة بدرجة أسرع مما تتراجعه خلال عام كامل

٢ - الفجوات الجانبية والأقواس والمسلات البحرية :

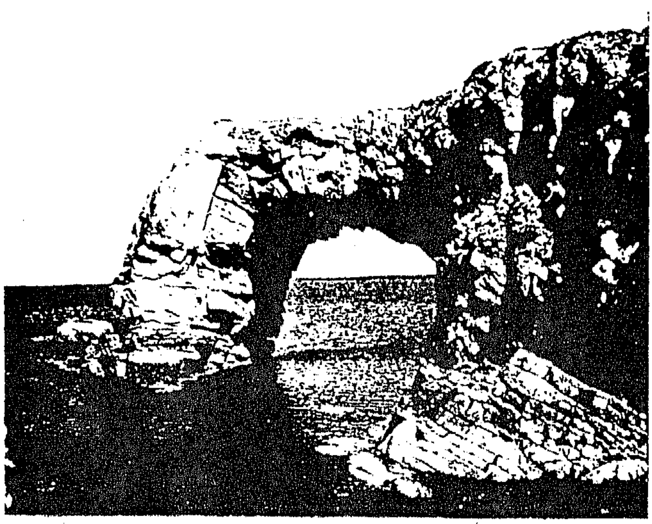
تتشكل الجروف والحوائط البحرية التى تتألف من صخور رخوة لينة بظاهرات جيومورفولوجية متباينة بفعل نحت الأمواج فى صخورها . فإذا كانت هذه الجروف تتركب من طبقات صلبة متعاقبة فوق أخرى لينة ، تعمل الأمواج على نحت الصخور السفلى اللينة وتكتشف مناطق الضعف الجيولوجى فيها والتى تتمثل فى فتحات الشقوق والفوالق وأسطح الصدوع ، وبمرور الزمن

تتسع هذه الفتحات وتكون كهوفا بحرية أو فجوات فى جوانب هذه الجروف ، يطلق عليها على طول سواحل اسكتلندا اسم «جيو» *Notch or Geo* (شكل ١١٩ ب) . وقد تعمل الأمواج على استمرار تآكل الصخور اللينة ، ومن ثم يختل توازن الصخور العليا الصلبة وتتعرض الصخور لعمليات السقوط والانزلاق ، وينجم عن ذلك أن تتسع الفجوات الجانبية ، ويزداد حجمها وتعرف فى هذه الحالة باسم الفجوات الهوائية *Blow Hole* (شكل ١١٩ جـ) . واذا تصادف أن

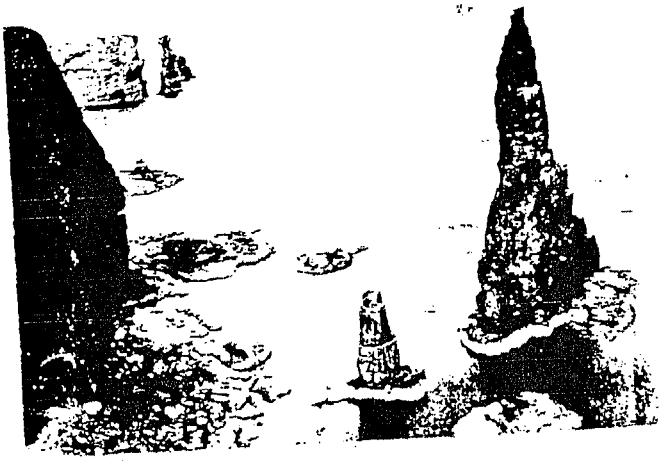


(شكل ١١٩) تطور تكوين الفجوات الجانبية والأقواس والمسلات البحرية
(من إنشاء الباحث)

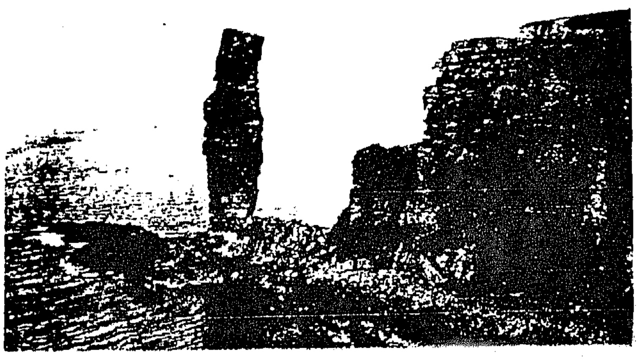
تكونت فجوتان متجاورتان فى اتجاهين متضادين ، فقد تعمل الأمواج على التحامهما ببعضهما البعض وتتكون فتحات ضيقة فى الصخور اللينة ، سرعان ما تتسع تبعا لتآكل الصخور وتبدو على شكل أقواس أو جسور بحرية *Arches or Sea Bridges* (لوحة ٦١ أوشكل ١١٩ د) وعندما يختل توازن أسقف القوس البحرى وتنهار صخوره ، تنفصل ألسنة الجروف الصخرية لتكون مسلات بحرية *Sea Stacks* (شكل ١١٩ هـ) . وتجدر الاشارة بأنه على الرغم من أن هذه المسلات قد قاومت فعل الأمواج مدة طويلة من الزمن أثناء تكوين الكهوف والفجوات والأقواس البحرية ، إلا أنها قد تتعرض هى الأخرى لفعل الأمواج من جديد خاصة إذا اكتشفت الأخيرة فيها بعض مناطق الضعف الجيولوجى التى لم تكن ظاهرة من قبل . ومن ثم تنقسم المسلات البحرية وتتفتت (شكل ١١٩ و) أو قد تتآكل قاعدتها وتنهار المسلة وتسقط أمام فعل تطاحن الأمواج ونزاعها الدائم والتهامها لصخور اليابس المجاور لتقدم إلى البحر رواسب قارية جديدة تتجمع فوق قاعه (لوحة ٦٢) .



(لوحة ٦١ أ) الأقواس البحرية



(لوحة ٦٢) مسلات بحرية أمام ساحل دنكاسبى - انجلترا
فى تكوينات الحجر الرملى الأحمر القديم



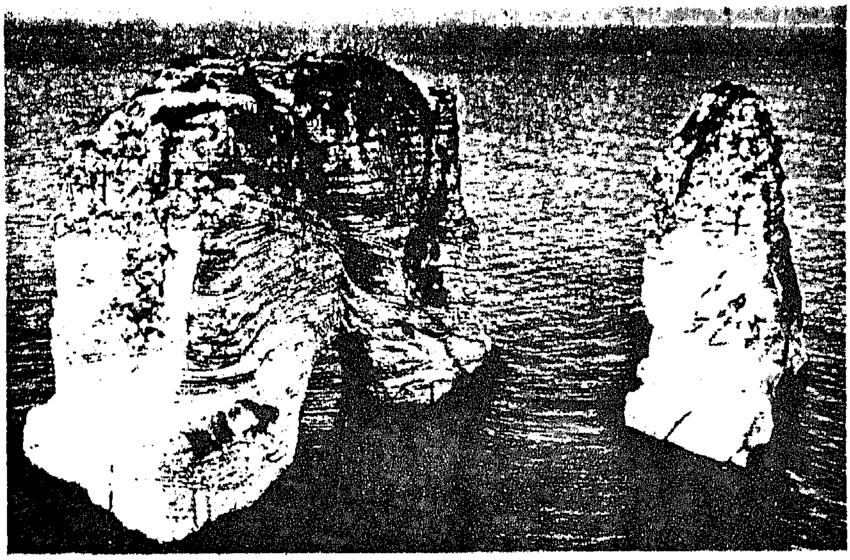
(لوحة ٦٣) مسلة بحرية بجوار جزر أوركلى (الجزر البريطانية)
لاحظ تكوين الفجوات البحرية فى الجروف البحرية

ومن أظهر أشكال المسلات البحرية تلك التى تتكون فى الطبقات الطباشيرية على طول بعض أجزاء من السواحل الغربية لجزيرة وايت *Isle of Wight* بانجلترا ، وخاصة تلك المعروفة باسم «النيدل» *The Needles* . وكذلك تلك المسلات البحرية التى تتكون فى صخور الحجر الرملى الأحمر القديم *Old Red Sandstone* ، على سواحل جزر أوركنى *Orkeneys* شمال انجلترا (لوحة ٦٣) ، ويبلغ ارتفاع واحدة منها والتى تعرف باسم *Old Man of Hoy* نحو ٤٥٠ قدم فوق سطح مياه البحر . كما تتمثل بعض المسلات البحرية عند أجزاء من السواحل الشمالية الغربية لجمهورية مصر العربية ، وأظهرها مسلة مرسى مطروح . وفى شتاء عام ١٩٦٤ تعرضت قاعدة احدى هذه المسلات الأخيرة لفعل الأمواج الشديدة واختل توازنها وانهارت وتحولت إلى رواسب بحرية .

ويتميز ساحل مدينة بيروت بكثرة المسلات البحرية المجاورة له ، وأكبرها حجما وارتفاعا تلك المعروفة باسم «الروشة» والتى تتألف من مسلتين بحريتين كبيرتين يزيد ارتفاع كل منهما عن ٣٠ مترا فوق سطح مياه البحر ، وقد نجحت الأمواج فى تكوين جسر بحرى عميق فى المناطق الضعيفة جيولوجيا من المسلة البحرية الكبيرة الحجم من مسلتى الروشة (لوحة ٦٤) .

القطاعات البحرية الطولية :

تنحت الأمواج فى مقدمات السهل البحرى وأقدام الجروف البحرية ، وتقوم فى نفس الوقت كذلك بعامل نقل المفتتات الصخرية من فوق الشاطئ وارساب معظمها فوق أرضية البحر . على ذلك فإن القطاع الطولى للبحر الذى يتمثل فى انحدار كل من السهول البحرية ومقدمات أو أعالى الرفرف القارى هو نتاج الفعل المشترك بين كل من فعل التعرية والارساب معاً . ويختلف مدى فعل كل من هذين العاملين من وقت الى آخر ، ومن مكان إلى آخر . فتتنوع مثلا كمية المواد المترسبة من مرحلة لأخرى ، تبعا لحجم هذه المواد وأشكالها ومظهرها وطرائق ارسابها والمصادر التى اشتقت منها الرواسب



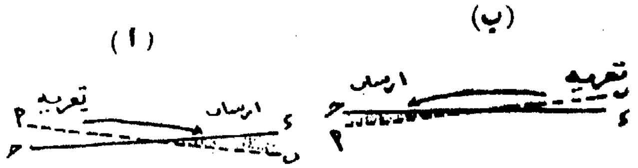
(لوحة ٦٤) مسلات الروشة أمام ساحل مدينة بيروت ـ لبنان
لاحظ تكوين الكوبرى أو القوس البحرى ـ تصوير الباحث

سواء من الأنهار التى تصب فى البحر أو نتيجة لتفتت صخور الجروف البحرية . وتختلف عملية نقل المواد المترسبة من جزء إلى آخر تبعا للعوامل الآتية :

(أ) درجة انحدار السهل البحرى .
(ب) قوة تراجع الموجة .
(جـ) خصائص المفتتات الصخرية واختلاف أحجامها وأشكالها .

فإذا كان انحدار السهل البحرى شديدا نسبيا فإن هذه الحالة تسهم فى نقل المواد والمفتتات الصخرية من الشاطئ إلى داخل البحر بسهولة ، كما ينجم عن ذلك توالى عمليات الارساب فى مقدمة السهل البحرى وأعالى الرفرف القارى ، ومن ثم يقل الانحدار العام للقطاع الطولى للبحر ، ويتميز السهل البحرى وأعالى الرفرف القارى باستواء السطح (شكل ١٢٠ أ) .

أما اذا كان انحدار السهل البحرى بسيطا ، فإن هذه الحالة تسهم فى تجمع



(شكل ١٢٠) تشكيل القطاعات البحرية بفعل التعرية والارساب

معظم المفتتات الصخرية على الشاطئ أو فوق أعالى السهل البحرى ، وتنقل بعض منها بالتدريج وببطء شديد صوب أعالى الرفرف القارى . وبتوالى هذه العملية يزداد ارتفاع السهل البحرى تبعا لتراكم الرواسب فوقه ويبدو القطاع الطولى للبحر أشد انحدارا منه فى الحالة الأولى (شكل ١٢٠ ب) .

وعلى ذلك فإن القطاع الطولى للبحر يتعرض دائما للتغيير نتيجة الارساب ومدى فعل عوامل التعرية التى يؤثر أى منهما أو كليهما معا فى تشكيل انحداره وامتداده . أما إذا نقلت المواد والمفتتات الصخرية إلى قاع البحر فى نفس الوقت الذى تتفتت فيه ، فيطلق على القطاع الطولى فى هذه الحالة بأنه قد وصل إلى حالة الثبات *Profile of Equilbrium* .

ثانيا : فعل البحر كعامل نقل وارساب :

تتشكل أرضية البحار والمحيطات بفعل الارساب بدرجة أكبر بكثير من تأثرها بفعل التعرية ، حيث يكاد ينحصر فعل العامل الأخير على منطقة خط الساحل نفسه ، أما أثر فعل الارساب فيظهر فى كل أجزاء قاع المحيط سواء أكانت الضحلة المجاورة لخط الساحل أو الأخرى العميقة فى البحار المفتوحة .

ويترسب فوق قاع البحر أنواع مختلفة من الرواسب تتمثل فى تلك التى تذروها الرياح والتى تتألف من الرمال وأتربة البراكين ، وكذلك المواد التى تصبها الأنهار والثلاجات ، هذا الاضافة إلى تجمع الرواسب العضوية تبعا لاندثار بقايا الكائنات البحرية وتوالى عمليات تراكم قشورها ، ومن ثم تكون طبقات إرسابية هائلة السمك فوق قاع المحيط .

ويلاحظ أن اختلاف حجم حبيبات المفتتات الصخرية واختلاف أعماق البحر لهما الأثر الكبير فى التوزيع الجغرافى للارسابات المختلفة فوق قاع البحار والمحيطات . فتتراكم الرواسب الخشنة الغليظة الحبيبات الثقيلة الوزن عادة بالقرب من الشاطئ أو خط الساحل ، ثم تليها تلك المواد التى تتألف من حبيبات أقل خشونة وحجما . وعلى ذلك فتتميز الحواف الحدية الهامشية للرفرف القارى بأنها تتألف من رواسب دقيقة ناعمة . وتساعد دراسة تصنيف هذه المجموعات من الرواسب وتمييز كل منها على تحديد العوامل التى أدت إلى تكوينها وارسابها من ناحية والبيئة الطبيعية التى تتجمع فيها من ناحية أخرى . بل أمكن دراسة تغير المناخ وتذبذبه من نتائج فحص أشكال الرواسب البحرية التى ترجع إلى عصر البلايوستوسين .

١ - نقل المفتتات الصخرية وارسابها على الشاطئ وفى أعالي أرضية الرفرف القارى :

وتتمثل هذه الحالة كما سبق القول على طول السواحل التى تتميز قطاعاتها الطولية البحرية بالاستواء أو الانحدار التدريجى البسيط صوب البحر وتبعا لذلك تقل عمليات نقل المفتتات الصخرية بواسطة أى أو كل من عامل الانحدار ـ الجاذبية الأرضية ـ والأمواج المتراجعة صوب البحر . وقد ينتج عن ضعف الانحدار تجمع بعض الرواسب البحرية كذلك فوق أسطح السهول البحرية بفعل الأمواج المتكسرة . والدليل على ذلك تغطية بعض أجزاء من هذه السواحل بالرواسب البحرية وقشور الكائنات البحرية وغطاءاتها ، والتى تؤكد كل خصائصها أنها أرسبت بواسطة أمواج البحر وتراكمت على الشاطئ نفسه . وعلى طول مثل هذه السواحل قد تتمكن الأمواج المتكسرة عند تراجعها إلى البحر والرياح على نقل الرمال وفتات الصخر الدقيقة الحبيبات صوب البحر ، بينما تبقى حبيبات الصخور الغليظة الحجم والحصى والزلط والجلاميد على شكل فرشات ارسابية تغطى معظم أجزاء السهل البحر وتكون السواحل الحصوية . ومن بين أمثلتها الساحل الشمالى الغربى لجزيرة كورنول بانجلترا

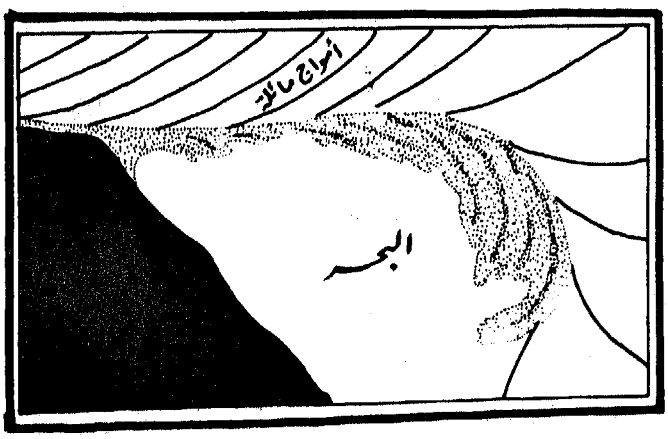
يتضح من هذا العرض أن هذه المجموعة من السواحل تتميز بعدم ثبات قطاعاتها الطولية ، وذلك لتراكم معظم الرواسب على أسطح السهل البحرى ، بينما يتجمع القليل منها فوق قاع الرفرف القارى . وبتوالى هذه العملية يأخذ منسوب السهل البحرى فى الارتفاع التدريجي ويشتد انحداره صوب البحر . وعندما يصل السهل البحرى إلى هذه الحالة تستطيع الأمواج أن تنقل الرواسب المتجمعة فوق السهل البحرى وتقذفها فى البحر من جديد ، وتنعكس صورة الارساب عن ذى قبل إلى أن يصل انحدار القطاع الطولى للسهل البحرى إلى حالة الثبات .

وقد بذلت بعض الدول الساحلية مجهودات كبيرة للحد من كميات الرواسب الهائلة التى تتركها الأمواج فوق أسطح السهل البحرى ، وذلك ببناء الحواجز أو مصدات الامواج والتى تعرف باسم *Groynes* . وقد عملت هذه الحواجز على صد الرمال المترسبة وتجمعها من الجانب التى تأتى منه تبعا لحركة الرياح والامواج ، بينما يبدور الجانب المضاد من هذه الحواجز خاليا تماما من الرمال المتراكمة عليه ، إلا أن هذه الحواجز ساهمت فى نف الوقت على تعرية الساحل بشدة . وذلك لأنها قاومت فعل الارساب ، بينما فتحت المجال لفعل التعرية . وتساهد هذه الحالة على طول سواحل بريتون وسواحل ورثينج *Worthing* حيث نجم عن حواجز الرمال ، شدة فعل تعرية الأمواج فى صخور الشاطئ .

وعندما يزداد نشاط الارساب البحرى على السواحل المرتفعة المنسوب نسبيا أو فوق تلك التى تتميز بالانحدار التدريجى الضعيف ، فقد ينجم عن ذلك تكوين الألسنة والحواجز البحرية . وإذا انتهى خط الساحل عند مدخل خليج أو مضيق بحرى فإن المواد المنقولة بواسطة اندفاع الأمواج وتيارات المد تترسب فى مياه الخليج العميقة على شكل ألسنة طولية . وبتكرار هذه العملية تتجمع المواد المترسبة أمام خط الساحل فوق بعضها البعض وتساهم فى بناء جسر طولى طبيعى من الرمال والحصى . ويأخذ طول هذا الجسر وارتفاعه

فى الازدياد التدريجى بمرور الزمن تبعا لارساب كميات الرمال والحصى عند نهاياته الهامشية وعلى طول حافاته الجانبية إلى أن يصل فى النهاية إلى مرحلة نموه الأخيرة والتى يضعف خلالها أثر فعل الأمواج فى تشكيل المظهر الجيومورفولوجى العام لهذا الجسر الطولى البحرى .

وإذا نشأ هذا الجسر فى مياه البحر المفتوحة *Open Sea* فيطلق عليه فى هذه الحالة الخطاف أو «اللسان البحرى» *Spit* (شكل ١٢١) وتعمل الأمواج على ارساب الرمال والمفتتات الصخرية على جانب اللسان البحرى الذى يواجه اليابس ، وعلى ذلك يقترب اللسان البحرى بالتدريج من خط الساحل . أما الانحناء الملحوظ فى الألسنة البحرية والذى يشبه رأس الخطاف فيرجعه الباحثون الى اثر فعل الأمواج المائلة فى تشكيل رواسب اللسان البحرى وتراكم الأخيرة على جوانبه . ومن بين أظهر الأمثلة على الألسنة البحرية المنحنية فى سواحل الجزر البريطانية تلك التى تتمثل فى رأس سبرن *Suprn Head* الذى يقع عند مدخل خليج همبر على ساحل يوركشير . ولسان يارموث البحرى الذى يمتد أمام مصب نهر يار *Yare* على طول ساحل نورفلك *Norfolk* ، ولسان الدبيرة *Aldeburgh* البحرى الذى يمتد عند مصب نهر الد *R. Alde* إلى الشرق من بلدة أورفورد *Orford* على ساحل سفولك *Suffok* (لوحة ٦٥) .



(شكل ١٢١) الألسنة البحرية

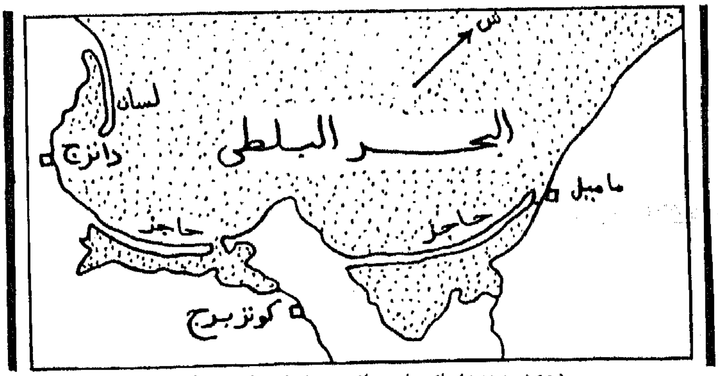


(لوحة ٦٥) نموذج للألسنة البحرية

أما الحاجز البحرى *Bar* فهو عبارة عن تعديل طرأ على شكل اللسان البحرى . فحيث يمتد الأخير امتدادا طوليا صوب البحار المفتوحة ، يمتد الحاجز البحرى عرضيا فيما بين طرفى رأسين من اليابس المجاور . وتعمل الحواجز على حجز مياه البحر العميقة نسبيا عن المستنقعات البحرية الضحلة التى تمتد فيما بين الحواجز البحرية وخط الساحل . وإذا حجزت هذه المستنقعات عن البحر تماما بواسطة الحواجز البحرية ، فتبدو على شكل بحيرات مستنقعية *Lagoons* ، ولكنها عادة تتصل بالبحر المجاور بواسطة فتحات ضيقة ، تشقها الأمواج وتيارات المد والجزر . ومن أمثلة الحواجز البحرية المشهورة فى بحر البلطيق تلك التى تمتد فيما بين مدينة مميل *Memel* شرقا ومدينة دانزنج *Danzing* غربا ، وتبدو على شكل حاجزين بحريين طويلين ، ويحيطهما عديد من الكثبان الرملية ، ومستنقعات بحيرية اسعة تعرف باسم «هافس *Haffs*» (شكل ١٢٢) .

٢ - رواسب المياه الضحلة القريبة من الشاطئ *Shallow Water Sediments* :

على الرغم من ضحولة المسطحات المائية فى هذه المناطق الا أنه تبعا



(شكل ١٢٢) الحواجز البحرية فى البحر البلطى

لكونها منطقة الالتقاء بين اليابس والماء ، تنوعت فيها أشكال الرواسب واختلفت من حيث مصادرها ونشأتها وخصائصها . فبعض من هذه الرواسب قد تكون عضوية تبعا لاندثار المحار والقواقع والأصداف البحرية الا أن الجزء الأكبر منها يعد رواسب قارية سواء أكانت عضوية أو غير عضوية ، تجلبها كل من الأنهار والثلاجات والرياح . وتختلف أشكال هذه الرواسب وتكويناتها تبعا لمدى قربها أو بعدها من خط الساحل . ويمكن تمييز المواد المختلفة التى تتألف منها رواسب المياه الضحلة القريبة من الشاطئ تبعا لاختلاف حجم حبيباتها إلى ما يلى :

(أ) الرمال *Sand* :

نحو ٨٠ ٪ من المواد التى يطلق عليها تعبير «رمال» يزيد قطر حبيباتها عن ٦٢ ميكرون (الميكرون *Micrones* ، وحدة قياسية تعادل ٠,٠٠١ من المليمتر) . وبذا تتنوع الرمال تبعا لاختلاف حجم حبيباتها إلى المجموعات الثانوية الآتية :

الرمال الخشنة جدا	قطر حبيباتها من ١٠٠٠ – ٢٠٠٠ ميكرون .
الرمال الخشنة	قطر حبيباتها من ٥٠٠ – ١٠٠٠ ميكرون .
الرمال المتوسطة الخشونة	قطر حبيباتها من ٢٥٠ – ٥٠٠ ميكرون .
الرمال الدقيقة	قطر حبيباتها من ١٢٥ – ٢٥٠ ميكرون .
الرمال الدقيقة جدا	قطر حبيباتها من ٦٢ – ١٢٥ ميكرون .

(ب) الرمال الغرينية *Silty Sand* :

نحو ٥٠ إلى ٨٠ ٪ من هذه الرواسب يبغ متوسط قطر حبيباتها أكثر من ٦١ ميكرون .

(جـ) الغرين الرملى *Sandy Silt* :

(١) نحو ٥٠ ٪ من تكونياته يبلغ متوسط قطر حبيباتها أكثر من ٥ ميكرون .
و (٢) نحو ٢٠ ٪ من تكويناته يبلغ متوسط قطر حبيباتها أكثر من ٦٢ ميكرون

(د) الطين الغرينى *Silty Mud* :

(١) أكثر من ٥٠ ٪ من تكونياته يبلغ متوسط قطر حبيباتها أكثر من ٥ ميكرون .
و (٢) أقل من ٢٠ ٪ من تكويناته يبلغ قطر حبيباتها أكثر من ٦٢ ميكرون .

(هـ) الطين الصلصالى *Clayey Silt* :

أقل من ٥٠ ٪ من تكونياته يزيد متوسط قطرها عن ٥ ميكرون .

أما إذا تميزت الرواسب بشدة خشونتها وتميزت حبيباتها بكبر حجمها نسبيا كما يحدث عادة على طول السواحل الحصوية وكذلك عند الحواف الحدية الهامشية للرفارف القارية التى تشكلت بالتعرية الجليدية ، فيمكن تمييز الأنواع الآتية من الرواسب :

(أ) رواسب الجلاميد *Boulders* ويبلغ متوسط قطر حبيباتها أكثر من ٢٥٦ ملم .
(ب) رواسب الزلط والحصباء *Cobbles* ويبلغ متوسط قطر حبيباتها فيما بين ٦٤ – ٢٥٦ ملم .
(جـ) رواسب الحصى *Pebbles* ويبلغ متوسط قطر حبيباتها فيما بين ٤ – ٦٤ ملم .

تصنيف السواحل البحرية

تبعا لتنوع أشكال السواحل البحرية وتعدد العوامل التى أثرت فى مظهرها الجيومورفولوجى العام يمكن القول أنه لم يرجح الباحثون حتى الآن تقسيماً جامعاً مانعاً لكل أنواع السواحل البحرية والتمييز بين مجموعاتها المختلفة . ويمكن جمع التصنيفات المختلفة التى رجحت فى هذا الصدد فى مجموعتين رئيسيتين هما :

(أ) تصنيفات وصفية *Descriptive Classification* تختص بدراسة الظاهرات الجيومورفولوجية الساحلية ، وتقسيم مجموعات السواحل تبعا لتنوع أشكال هذه الظاهرات .

(ب) تصنيفات وضعت على أساس اختلاف نشأة السواحل *Genetic Classification* .

وقى عنى معظم الباحثين عند دراستهم للسواحل ، وتصنيفها بالنقاط الآتية :

(أ) الظاهرات الجيومورفولوجية الساحلية التى تشكل كلاِ من الساحل والشاطئ المجاور .

(ب) تذبذب مستوى سطح البحر ، والعلاقة بين ارتفاع مستوى سطح البحر وانخفاضه ، باليابس المجاور .

(جـ) العوامل البحرية المختلفة التى تعمل على تشكيل الظاهرات الجيومورفولوجية خاصة ، والمظهر العام للساحل عامة .

وقد اعتمد الأستاذ سوس *Suess, 1888* (١) عند تصنيفه لسواحل البحار فى كتابه «سطح الأرض» على أساس اختلاف الظاهرات الجيومورفولوجية الساحلية وعلى ذلك ميز نوعين رئيسيين من السواحل هما :

---

(1) Suess, E. "The face of the Earth", vol. (2), 1888 "English translation, 1960.

(أ) سواحل المجموعة الأطلسية *Atlantic Type* :

وهى تلك السواحل التى تأثرت بحدوث حركات تكتونية نجم عنها تكوين محاور ثنيات محدبة وأخرى مقعرة تمتد عمودية على خط الساحل .

(ب) سواحل المجموعة الباسفيكية *Pacific Type* :

وهذه تتميز بأن كلا من محاور الثنيات الصخرية المحدبة والمقعرة تمتد موازية لخط الساحل نفسه . وقد اعتمد الجيولوجيون عند تصنيفهم للسواحل البحرية خلال القرنين الثامن والتاسع عشر على أساس اختلاف مستوى سطح البحر والعلاقة المتبادلة بين السواحل واليابس المجاور . وقد شملت معظم تصنيفاتهم مجموعتين رئيسيتين من السواحل هما :

(أ) السواحل الظاهرة أو البارزة *Emergence*

(ب) السواحل الغاطسة أو المنغمرة *Submeregence*

ومن بين أقدم كتابات هؤلاء الجيولوجيين أبحـاث الأستاذ دانا *Dana J. D.* (1) الذى رجح عام ١٨٤٩ أن نشأة سواحل خليج تاهيتى المتسع ترجع إلى حدوث ارتفاع مستوى البحر والذى نجم عنه انغمار الأراضى المجاورة وتكوين خليج تاهيتى . وقد اهتم بعض كتاب القرن التاسع عشر خاصة ريشتوفن *Richthofen* عام ١٨٨٦ (2) ، ووليم موريس دافذز *W. M. Davis* عام ١٨٩٨ (3) وجيلفر *Gulliver* عام ١٨٩٩ (4) ، بدراسة كل من السواحل البارزة وتلك الغاطسة وتحديد أهم الظاهرات الجيومورفولوجية الساحلية التى

---

(1) Dana, J. D., "Geology, U. S. exploring expedition" Philadelphia". 1849.

(2) Richthofen, F. von, "Fûhrer fûr Forschungreisends-Janeck", Hanover, 1886.

(3) Davis W. M., "Physical geography" Boston, 1898.

(4) Gulliver, F. P., "Shoreline topography" Ammer. Acad., Arst And Sci., 34 (1899), 151 - 258.

تميز كلا منهما وذكر أمثلة تطبيقية لها فى بعض أجـزاء سواحل العالم المختلفة .

وفى عـام ١٩٣٤ اهتم دالى *R. A. Daly* (١) بدراسة مراحل تذبذب مستوى سطح البحر منذ بداية عصر البلايوستوسين وأثر ذلك فى نمو الحواجز والجزر المرجانية وامتدادها من ناحية وتكوين السواحل الظاهرة والغاطسة من ناحية أخرى . أما الأستاذ ايمانويل ديمارتون *E. de Martonne* فقد اقترح تصنيفه للسواحل البحرية عام ١٩٠٩ على أساس اختلاف عوامل التعرية البحرية التى أثرت فى تشكيل المظهر الجيومورفولوجى العام لهذه السواحل . وقد لاحظ ديمارتون كذلك أن هناك بعض أجزاء من السواحل تتميز بتشكيلها بعوامل تحاتية بحرية متشابهة الا أنها تتألف من ظاهرات جيومورفولوجية متباينة ، وعلى ذلك فقد رجح دورة تحاتية تمر بها معظم سواحل العالم خلال عمرها الجيولوجى الطويل (٢) .

ويمكن أن نلخص أهم التصنيفات الأكثر شيوعا فى هذا الصدد فيما يلى :

أولا : تقسيم جونسون *D. W. Johonson* :

يعتبر هذا التقسيم الأساس الأول الذى كان يستخدم عند الحديث عن مجموعات السواحل منذ ظهوره عام ١٩١٩ ومازال يستخدم كذلك حتى الوقت الحاضر . وترجع أهمية هذا التقسيم إلى جمعه عديدا من السواحل المختلفة وأنه يقوم على أساس اختلاف نشأة السواحل (٣) . وقد قسم جونسون سواحل البحار والمحيطات إلى ما يلى :

(1) Daly, R. A., "The changing word of the Ice Age", Yale Univ., Press, 1934.

(2) de Martonne, E. "Trité de deographie physique". Paris, 1909.

(3) King, C. A. M. "Beaches and coasts" London, (1961), p. 235.

(أ) سواحل الرياس *Ria Coasts* ، وهى عبارة عن خلجان طولية متجاورة داخلة فى اليابس ومن أحسن أمثلتها سواحل غرب ايرلندا .

(ب) سواحل الفيوردات *Fjord Coasts* ، ومنها سواحل غرب النرويج والساحل الجنوبى الغربى لشيلى التى تأثرت بفعل الجليد وجبال الثلج الطافية .

٢ - السواحل الظاهرة أو البارزة *Emergence Coasts* :

وهى تلك التى تتكون تبعا لانخفاض منسوب سطح البحر وتراجعه خلفيا عن اليابس المجاور من ناحية ، أو تبعا لارتفاع اليابس نفسه من ناحية أخرى .

٣ - السواحل المحايدة *Neutral Coasts* :

وهى عبارة عن مجموعة محايدة من السواحل لا ترجع نشأتها إلى أثر فعل انخفاض منسوب سطح البحر أو ارتفاعه بل قد تنشأ نتيجة لظروف محلية تتمثل فيما يلى :

(أ) سواحل الدلتاوات *Delta Coasts*

(ب) سواحل السهول المروحية *Alluvial Plain Coasts* .

(جـ) سواحل السهول التى تشكلت بالفرشات الارسابية *Outwash Plain Coasts* .

(د) سواحل البراكين *Volcano Coasts* .

(هـ) سواحل الحواجز المرجانية *Coral-reef Coasts* .

(و) السواحل الصدعية *Fault Coasts* .

٤- السواحل المركبة *Compound Coasts* :

ويقصد بها تلك المجموعة من السواحل التى ترجع نشأتها إلى أكثر من عامل واحد من تلك العوامل التى سبق ذكرها .

يتضح من هذا العرض ، أن تقسيم جونسون قد بنى على أساس اختلاف نشأة السواحل ، ولكن اذا طبقت أسسه بكل دقة لتبين أن نحو ١٥ ٪ من سواحل البحار والمحيطات تتبع المجموعة الأخيرة وحدها ، وهى السواحل المركبة . فعلى الرغم من أنه يمكن تمييز بعض مجموعات من السواحل التى قد تقع ضمن أى من مجموعتى السواحل الغاطسة أو البارزة إلا أن معظم أجزاء هذه السواحل قد تشكلت بدورها خلال عمرها الجيولوجى الطويل بعوامل مختلفة ، مما يجعلها أقرب إلى مجموع السواحل المركبة . وقد أكد جونسون كذلك أن أهم ما يميز السواحل المرتفعة التى أشار إليها هو استواء سطحها وانحدارها التدريجى البسيط صوب البحر المجاور ، الا أن بوتنام *Putnam* عام ١٩٣٧ (١) قد ميز هو الآخر بعض مجموعات من السواحل المرتفعة التى تتألف من سهول بحرية ذات انحدار شديد صوب البحر المجاور .

ثانيا : تقسيم شبرد *F. P. Shepard* :

رجح شبرد هذا التقسيم عام ١٩٣٧ (٢) ، ثم عدل فيه بعض الشئ فى كتابه ١٩٤٨ (٣) وقد اعتمد شبرد فى تقسيمه على أساس اختلاف أشكال السواحل تبعا لتأثرها بعوامل التعرية المختلفة وعلى ذلك ميز بين كل من السواحل التى تكونت بفعل عوامل تحاتية قارية *Terrestial Agencies* وأخرى تشكلت بواسطة عوامل تحاتية بحرية *Marine Processes* ويمكن اعتبار هذا التقسيم ضمن تلك المجموعة التى صنفت على أساس اختلاف عوامل التعرية التى تساهم فى تكوين السواحل . وقد ميز شبرد عدة مجموعات ثانوية أخرى من

---

(1) Putnam, W. C. "The marine cycle of ersion for a steeply Sloping shoreline of emergence" Jour. Geol., vol. 45 (1939). 844 - 850.

(2) Shepard, P. F., "Revised classification of marine shorelines" Jour. Geol. vol. 45 (1937), 602 - 624.

(3) Shepard, F. P., "Submarine geology", New York 1948, 2 end edit 1963.

السواحل على أساس اختلاف نشأتها . وعلى الرغم من أن هذا التقسيم قد يتصف بالتعقد تبعا لكثرة عدد المجموعات المختلفة من السواحل التى أشار إليها ، الا أنه يعد كذلك أكثر تفصيلا عن بقية التقسيمات الأخرى التى رجحت من قبل . ويمكن أن نلخص هذا التقسيم فيما يلى :

المجموعة الأولى :

(سواحل تشكلت بواسطة عوامل تحاتية قارية أو غير بحرية الأصل) ، وتشمل :

١ - سواحل ترجع نشأتها إلى عوامل التعرية القارية والانغمار منها :

(أ) سواحل الرياس على طول ساحل دالماشيا وسواحل جنوب غرب ايرلند.

(ب) سواحل غاطسة بفعل التعرية الجليدية .

٢ - سواحل ترجع نشأتها إلى فعل الارساب القارى ، ومنها :

(أ) سواحل تكونت بمساعدة الارسابات النهرية والرواسب الفيضية المروحية .

(ب) سواحل تكونت بمساعدة الارسابات الجليدية .

(جـ) سواحل تكونت بمساعدة فعل الرياح .

(د) سواحل تكونت تبعا لتجمع النباتات الطبيعية مثل سواحل غابات المنجروف .

٣ - سواحل ترجع نشأتها إلى فعل الثورنات البركانية ، ومنها :

(أ) سواحل تكونت تبعا لحدوث الانفجارات البركانية .

(ب) سواحل تكونت تبعا لتجمع اللافا والمصهورات البركانية .

٤ - سواحل ترجع نشأتها إلى حدوث بعض الحركات التكتونية الفجائية ، ومنها :

(أ) سواحل تكونت تبعا لحدوث حركات التصدع .

(ب) سواحل تكونت تبعا لحدوث حركات الرفع التكتونية .

المجموعة الثانية :

١ - سواحل تشكلت بواسطة عوامل تحاتية بحرية وتشمل :

سواحل ترجع نشأتها إلى أثر فعل عوامل التعرية البحرية ، تبعا لاستمرار تراجعها الخلفى .

٢ - سواحل ترجع نشأتها إلى فعل الارساب البحرى ، ومنها :

(أ) سواحل تتميز ببعض الظاهرات الجيومورفولوجية الساحلية التى تتمثل فى الجسور والألسنة البحرية تبعا لتراكم الرواسب .

(ب) سواحل تتألف من المستعمرات المرجانية والحواجز المرجانية .

وقد فضلت الأستــاذة كاكلين كينج *C. A. M. King* فى كتابها عام ١٩٦١ (١) تصنيف شبرد عن غيره من التصنيفات الأخرى ، ذلك لأنها اعتبرته تقسيما جامعا لمعظم الأنواع المختلفة من سواحل العالم المعروفة .

ثالثا : تقسيك كوتون *C. A. Cotton* :

رجح الأستاذ كوتون تقسيمه فى بداية عام ١٩١٨ (٢) ، ثم عدل فيه بعض الشئ عام ١٩٥٢ (٣) وتبعا لاختلاف حركة السواحل ومدى ثباتها أو استقرارها جيولوجيا ، ميز هذا الباحث مجموعتين رئيسيتين من السوحل هما :

(أ) سواحل فى مناطق مستقرة جيولوجيا .

---

(1) King C. A. M., "Beaches and Coasts", London (1961). p. 238.
(2) Cotton, C. A., "The outline of New Zealand ..." Geog. Rev., vol 6. (1918), 325 - 340.
(3) Cotton, C. A., "Criteria for the classification of coasts" 17 th Ing. Geog. Gong., Abs. of Papers (1952). p. 15.

(ب) سواحل فى مناطق غير مستقرة جيولوجيا .

وقد اعتمد فى معظم الأدلة التى حقق فيها آراءاه على مشاهداته الحقلية لأجزاء السواحل المختلفة لنيوزيلند حيث تتميز بعض هذه السواحل بعدم استقرارها جيولوجيا ، بينما لا ينتاب بعضها الآخر فى الوقت الحاضر أى حركات جيولوجية . وتتميز السواحل فى المناطق المستقرة جيولوجيا بتأثرها بتذبذب مستوى سطح البحر (خاصة منذ عصر البلايوستوسين حيث ارتفع منسوب سطح البحر نحو ٣٠٠ قدم حتى الوقت الحاضر تبعا لانصهار الجليد ، بينما تشكلت السواحل الاخرى غير المستقرة بحركات رفع اليابس أو هبوطه عن البحر المجاور . وقد أكد كوتون أنه ليس من الضرورى أن تكون السواحل فى المناطق المستقرة جيولجيا سواحلال غاطسة ، كما أنه ليست كل السواحل فى المناطق غير المستقرة جيولوجيا تعد سواحلا بارزة . وقد ميز عدة مجموعات أخرى ثانوية تدخل فى نطاق كل من هاتين المجموعتين كما يتضح فيما يلى :

أولا : سواحل المناطق المستقرة جيولوجيا *Coasts of stable regions* :

وقد تأثرت أجزاء كبيرة من هذه السواحل بارتفاع منسوب سطح البحر منذ نهاية عصر البلايوستوسين حتى الوقت الحاضر تبعا لانصهار الجليد، وتشمل :

(أ) سواحل تتشكل بظاهرات جيومورفولوجية تدل على أثر انغمارها بمياه البحر حديثا .

(ب) سواحل تتشكل بظاهرات جيومورفولوجية تدل على أثر انغمارها بمياه البحر فى فترات جيولوجية سابقة .

(جـ) سواحل أخرى متنوعة مثل سواحل البراكين وسواحل الفيوردات .

ثانيا : سواحل المناطق غير المستقرة جيولوجيا *Coasts of mobile regions*:

وهى عبارة عن سواحل مركبة تتأثر بحركات تكتونية فجائية كما قد تتأثر

كذلك بتذبذب منسوب سطح البحروتشمل :

(أ) سواحل تشكلت حديثا بأثر فعل انغمار البحر «مهما كان سبب هذا الانغمار» .

(ب) سواحل تشكلت حديثا بتعرضها لحركات تكتونية فجائية أدت إلى ارتفاع اليابس نفسه .

(جـ) سواحل تتشكل بفعل حركات التصدع .

(د) سواحل أخرى متنوعة - مثل سواحل البراكين وسواحل الفيوردات .

يتضح من هذا العرض أن تقسيم كوتون يشبه تقسيم جونسون من حيث اعتماده على أساس اختلاف العوامل التى أدت إلى تشكيل الظواهر الساحلية .

رابعا تقسيم فالنتين *H. Valentin*:

اعتمد الأستاذ فالنتين فى تصنيفه الذى رجحه عام ١٩٥٢ (١) للسواحل على مدى تقدمها أو تراجعها عن البحر المجاور . وتبعا لتنوع العوامل التى تؤدى إلى تقدم الساحل أو تراجعه ميز فالنتين عدة مجموعات أخرى ثانوية من السواحل وتتمثل فيما يلى :

أولا : السواحل التي تتقدم فى الوقت الحا ضر

Coasts which are advancing

ومنها :

(أ) سواحل ارتفعت حديثا .

(ب) سواحل تبنى حديثا بفعل أى أو كل من :

١ - تجمع بعض الكائنات الحية مثا سواحل المانجروف وسواحل الحواجز المرجانية .

---

(1) Valentin H., "Die Kûste der Erde". Petermenns Geog. Mitt - Ergânzs ungheft (1955) 246.

٢ - تراكم الرواسب البحرية مثل بناء الحواجز والجسور والألسنة البحرية .

٣ - تراكم الرواسب القارية أمام الساحل مثل رواسب الأنهار والدلتاوات والثلاجات .

ثانيا : السواحل التى تتراجع فى الوقت الحاضر

Coasts which are retreating

(أ) سواحل غاطسة أو تنغمر بمياه البحر فى الوقت الحاضر ومنها :

١ - سواحل تغطس بفعل أثر الجليد وتظهر على شكل سواحل الفيوردات .

٢ - سواحل غاطسة تبعا لهبوط أجزاء من الدلتاوات والأجزاء الدنيا من الأودية النهرية .

(ب) سواحل تتراجع تبعا لتراجع الجروف البحرية خلفيا نحو اليابس بحيث تعمل الأمواج على استمرار نقل المفتتات الصخرية بعيدا عن أقدام الجروف البحرية .

الفصل التاسع عشر

السهول التحاتية

ان لم ترجع نشأة أجزاء ما من سطح الأرض إلى أثر التكوين الصخرى وبنية الطبقات ، فهى لابد وأن ترجع إلى فعل أى أو كل من نحت عوامل التعرية المختلفة وارساب ما تحمله من مفتتات . وتتنوع أشكال سطح الأرض من مكان إلى آخر تبعا لطبيعة عنصرى «الاستواء والانحدار» اللذان يتألف منهما المظهر العام لأى منطقة على سطح الأرض . ويطلق على المناطق المستوية السطح وتلك التى لا يزيد درجة انحدار أسطحها فى المتوسط عن خمس درجات ، وتشغل مساحات واسعة من سطح الأرض اسم «سهول» *Plains* . (١) وتعد هذه الأخيرة ظاهرة جيومورفولوجية مهمة ، قد ترجع نشأتها أساسا اما إلى اختلاف التكوين الصخرى وتباين صلابته ، وتعرف هذه الحالة باسم السهول أو المدرجات الصخرية *Structural Plains or Rock-benches* أو إلى أثر فعل عوامل التعرية المختلفة وتعرف فى هذه الحالة باسم سهول التعرية أو السهول التحاتية *Erosional pailn* . وقد سبق الحديث عن الخصائص الجيومورفولوجية للمدرجات الصخرية وكيفية تصنيفها فى الفصل السابع من هذا الكتاب . أما السهول التحاتية فى مفهوم الجيومورفولوجيا الدافيزية فهذه تتشكل بخصائص جيومورفولوجية متعددة تبعا للعوامل التى أدت إلى نشأتها والدورة أو الدورات التحاتية التى مرت بها . وتتخلص أهم العوامل التى تؤدى إلى تكوين السهول التحاتية فيما يلى :

(أ) فعل التعرية النهرية وتكوين السهول التحاتية النهرية عند نهاية الدورة

---

(1) Savigear. R. A. G. "Technique and terminology in the investigation of slope forms".
Inter. Geog. Union, Comm. Etude Versants, Rapp. 1, (1956) 66 -

التحاتية *Cycle of Erosion* التى تعرض لها الإقليم وتعرف هذه السهول باسم *Peneplains* .

(ب) فعل التعرية البحرية وتكوين السهول التحاتية البحرية عند نهاية الدورة التحاتية التى تتعرض لها الشواطئ وتعرف هذه المجموعة من السهول باسم *Marin Plains* أو قد يطلق عليها كذلك *Plains of marine denudation* .

(جـ) فعل الرياح الشديدة *Wind Erosion* (ويساعدها فى أداء عملها التعرية الهوائية الأخرى الممثلة فى فعل الأمطار والسيول والانزلاقات الأرضية) ، وتكوينها سهولا تحاتية تعرف باسم السهول الهوائية الجبلية *Pediplains* (١) . وترجع نشأة هذه المجموعة من السهول الأخيرة إلى توالى عمليات ترجع الحافات الصخرية خلفيا *Scarp Recession* خاصة فى المناطق الجافة وشبه الجافة .

(د) فعل كل من التعرية الجليدية *Glacial Erosion* وشبه الجليدية *Periglacial Conditions* فى تكوين سهول تحاتية محدودة الأبعاد ومستوية السطح .

(هـ) فعل عوامل تعرية مختلفة تؤدى إلى تكوين سهول تحاتية فى زمن ما ، ثم قد تغطى هذه السهول الأخيرة بغطاءات من الرواسب الهائلة السمك ، ومن ثم تصبح سهولا تحاتية مدفونة *Exhumed Surfaces* الا أنها قد تظهر على سطح الأرض من جديد فى فترات جيولوجية أخرى أحدث عمراً بعد ازالة الغطاءات العليا التى ترسبت فوقها .

---

(١) يجب أن يضع القارئ فى الاعتبار الفرق بين السهول الهوائية الجبلية Pediplains التى تتكون تحت اقدام الجبال وبين تلك التى أطلق عليها معظم الكتاب الأوربيين اسم «السهول الهوائية» Subaerial Plains . فيقصد بالأخيرة كل من السهول التحاتية التى تكونت فوق سطح الأرض بفعل العمليات التى تحدث أساسا فى الجو وتشكل بدورها سطح الأرض Atmospheric Denudation وعلى ذلك يدخل ضمن مدلولها كل السهول الناجمة عن فعل الأنهار والمياه الجارية والجليد والرياح .

وعلى الرغم من أن كل هذه السهول تتميز باستواء أسطحها ونضج مظهرها الجيومورفولوجى ، إلا أنها تختلف فيما بينها من حيث الشكل العام وتكوينها وتوزيعها الجغرافى تبعا لما يلى :

(أ) التكوين الصخرى ونظام بنية الطبقات .

(ب) اختلاف نشأة أو أصل كل من هذه السهول .

(جـ) تعرض بقايا هذه السهول لدورة تحاتية كاملة *a Complete cycle* أو دورة تحاتية ناقصة *"A Partial Cycle"* أو إلى أكثر من دورة تحاتية *Polycycles* .

(د) المدة أو الزمن الذى تعرضت له بقايا هذه السهول لفعل عوامل التعرية المختلفة التى شكلت مظهرها الجيومورفولوجى .

(هـ) مدى تقطع بقايا السهول التحاتية *Erosion-surface remnants* بفعل المجارى النهرية والأودية العميقة .

ولو كان سطح الأرض خلال عمره الجيولوجى الطويل نحو ٦٠٠ مليون سنة (فيما بين الكمبرى إلى العصر الحديث) لم يتأثر بأى تغيرات تكتونية لأصبح سطحا مستويا تماما لا تتمثل فوقه أى مناطق مرتفعة اطلاقا ، تبعا لتكوين سهول تحاتية واسعة فيه بفعل عوامل التعرية . وحيث إن أجزاء واسعة من هذا السطح تعرضت لفعل حركات تكتونية متعاقبة خلال عصور جيولوجية مختلفة أدى ذلك بدوره إلى استمرار تحديد المظهر الجيومورفولوجى لأجزاء سطح الأرض وتجديد نشاط المجارى النهرية . وعلى ذلك يمكن القول بأنه فى الوقت الذى تتكون فيه سهول تحاتية فى بعض أجزاء سطح الأرض ، تعمق الأنهار مجاريها فى مناطق أخرى من أجزاء سطح الأرض وتشق الصخور بفعل عمليات النحت الرأسى المستمرة .

وتبعا لاختلاف منسوب سطح البحر من فترة إلى أخرى ، وحدوث حركات تكتونية فى أجزاء مختلفة من القشرة الأرضية ، ينجم عن ذلك تجديد نشاط عوامل التعرية المختلفة ، وتتكون فى النهاية مجموعات متعاقبة من السهول

التحاتية ، تحتل كل مجموعة منها مناسيب معينة فوق مستوى سطح البحر . وتشغل السفوح السهلية العليا *Upland Plains* والواقعة فوق المناطق العليا لأراضى ما بين الأودية *Interfluves* أقدم هذه السهول عمراً ، بينما تلك التى تحتل وتشغل السفوح السهلية المنخفضة *Low land Plains* أو أراضى الأودية النهرية والرواسب الفيضية الحديثة تعتبر سهولا حديثة العمر الجيولوجى .

وقبل أن نشير إلى التطور الجيومورفولوجى *Geomorphological Evolution* لبعض أجزاء من سطح الأرض أو بمعنى آخر تمييز السهول التحاتية المختلفة فى منطقة ما ، وتحديد نشأتها ومعرفة الأزمنة الجيولوجية والمراحل الجيومورفولوجية التى تكونت خلالها *Denudation Chronology* يجب أن ندرس الخصائص الجيومورفولوجية العامة لكل من هذه السهول المختلفة .

الخصائص الجيومورفولوجية العامة لأنواع السهول التحاتية المختلفة

١- السهول التحاتية النهرية *Peneplains* :

يطلق تعبير السهل التحاتى النهرى على تلك السهول التى تتكون عند نهاية الدورة التحاتية الدافيزية ، والتى أهم ما يميزها استواء أسطحها وضعف تضرسها *Faint Relief* وأن درجة انحدارها بسيطة جدا بحيث تكاد لا تكفى أكثر من استمرار جريان المجارى النهرية ببطء شديد نحو مصابتها . ويجب أن نشير كذلك إلى أن السهل التحاتى لا يعتبر الصورة النهائية لمظهر سطح الأرض بعد اتمام حدوث دورة تحاتية كاملة ، حيث أنه هو الآخر يتعرض باستمرار لفعل عوامل التعرية المختلفة التى تشكل مظهره الجيومورفولوجى العام . وعلى ذلك تتجزأ السهول التحاتية الواسعة الأبعاد عادة إلى بقايا متناثرة محدودة المساحة *Erosion-Surface remnants* تنفصل فيما بينها بواسطة المجارى النهرية المختلفة . وتبعا لامتداد بقايا السهل التحاتى فى

مناطق مختلفة من حوض النهر واختلاف منسوب الأجزاء المختلفة من مجرى النهر نفسه ، حيث أنه أعلى ارتفاعا فى منطقة المنابع اذا ما قورن بارتفاع منسوبه عند المصب ، لذا فإن بقايا السهل التحاتى لا توجد على ارتفاع واحد ثابت . وبالتالى ليس من الصواب أن نقول بأن هناك سهلا تحاتيا على منسوب ٤٥٠ قدم فوق البحر ، بل أن أى سهل تحاتى يتمثل فى بقايا سهلية مختلفة تشغل مواقع جغرافية متعددة (أراضى ما بين الأودية - أعالى التلال الجبلية - أعالى الحافات الجبلية) . وأهم ما يربط بينها ويجمعها فى مجموعة واحدة تشكل سهلا تحاتيا معينا هو :

(أ) وقوعها بين مناسيب محددة فمثلا تقع أقل هذه البقايا ارتفاعا على منسوب ٣٥٠ قدم ، بينما يقع أعلى هذه البقايا لنفس السهل التحاتى على منسوب ٤٣٠ قدم فوق مستوى سطح البحر ، وبالتالى تعتبر هذه البقايا السهلية فيما بين هذين المنسوبين تابعة لسهل تحاتى واحد يتراوح منسوبه فيما بين ٣٥٠ - ٤٣٠ قدم فوق مستوى سطح البحر خاصة إذا لم يكن بين هذه المناسيب تكسر فى الانحدار .

(ب) تشابه المظهر الجيومورفولوجى العام للبقايا السهلية التى تتبع مرحلة تحاتية معينة ، حيث أنها تكونت فى زمن واحد معين وتشكلت بنفس العوامل المختلفة وتطورت تحت ظروف متشابهة .

(جـ) إذا تميزت البقايا السهلية التابعة لمرحلة تحاتية معينة باحتوائها على بعض الرواسب ، فتبدو الأخيرة متشابهة من حيث أشكالها وتركيبها فوق كل هذه البقايا المختلفة بحوض النهر .

وأهم الخصائص التى تميز السهول التحاتية عن غيرها من السهول الأخرى (التركيبية) تتلخص فى النقاط الآتية :

١ - لا تتأثر أشكال السهول التحاتية النهرية أو امتدادها بالتركيب الصخرى الذى تنشأ فوقه كما هو الحال مثلا بالنسبة للمدرجات الصخرية وتتكون بقايا السهل التحاتى النهرى فوق أنواع مختلفة من الصخور

وتقشط أسطحها جميعا لتظهر على شكل سهل مستوى السطح مركب من صخور جيولوجية متباينة .

٢ – على الرغم من الاختلاف البسيط فى منسوب بقايا السهول التحاتية المختلفة التى تنتمى إلى مرحلة واحدة بالنسبة لسطح البحر ، إلا أنها تتفق جميعا من حيث مظهرها الجيومورفولوجى العام (درجة الانحدار والشكل العام للظواهر الجيومورفولوجية الثانوية التى تنشأ فوقها والرواسب النهرية التى قد تميزها ..) .

٣ – تتشكل سفوح انحدرات السهول التحاتية النهرية الحديثة العمر بتغطيتها بفرشات من الرواسب النهرية التى قد تساعد على معرفة الزمن الذى نشأت فيه هذه السهول . ولكن من النادر ملاحظة مثل هذه الرواسب فوق انحدارات أسطح لسهول التحاتية النهرية القديمة العمر (أقدم من البلايوستوسين) اللهم إلا بعض الرواسب المفتتة أو المتحللة بواسطة فعل التجوية *Deeply Weathered Waste* والتى تشغل الأجزاء العليا من الطبقات الصخرية .

٤ – أهم ما يميز بقايا السهل التحاتى النهرى كذلك التصريف النهرى وأشكاله . ففى بداية الدورة التحاتية تتكون الأنهار الرئيسة التى تمتد مع اتجاه ميل الطبقات *Consequent Streams* ، ولكنها سرعان ما تتغير وتتشكل فى نهاية الدورة التحاتية لتحتل مكانها أنهار أخرى تشق مناطق الضعف الجيولوجى أو تمتد على طول مضرب الطبقات . وعندما يتشكل التصريف النهرى بهذا النمط ، وغالبا ما يحدث ذلك فى نهاية الدورة التحاتية النهرية *Late Stage of Peneplanation* ، يطلق على التصريف النهرى فى هذه الحالة بأنه عدل مظهره بالنسبة للتركيب الصخرى فى المنطقة *Adapted or Adjusted to Structure* . وتعتبر هذه الخاصية أهم ما يميز السهول التحاتية النهرية خاصة إذا لم تتشكل هذه السهول الأخيرة

بالرواسب (١) .

٥ - على الرغم من اختلاف منسوب بقايا السهل التحاتى النهرى التى تنتمى إلى مرحلة واحدة الا أن قمم هذا السهل توجدغالبا على مناسيب متشابهة *Accordance of Summit Levels* بحيث يمكن ايصالها بخط وهمى يمثل منسوب السهل القديم ابان نشأته . وكثيرا ما تتباعد جانبى روافد الأنهار المختلفة عن بعضها بمسافات تكاد تكون متساوية كذلك *Equal Spacing of Valleys* (٢) .

ويطلق على تساوى مناسيب القمم الجبلية وبقايا السهول التحاتية المتشابهة ، والتى تعزى نشأتها إلى مرحلة واحدة معينة من مراحل تطور حياة النهر اسم *Gipfelflur Hypothesis* . وقد قام بتعديل هذه النظرية وتطوير آرائها ونتائجها الأستاذ هنرى بوليج *H. Baulig* فى مقاليه المشهورين عام ١٩٣٥ وعام ١٩٥٢ (٣) .

٢ - السهول التحاتية البحرية *Plains of Marine Denudation*:

يطلق هذا التعبير عل السهول التحاتية المستوية السطح التى ترجع نشأتها إلى فعل الأمواج فى الأراضى المجاورة لخط الساحل مدة طويلة من الزمن ، أو تبعا لتراجع البحر عن الأرض المجاورة ومن ثم تتكون سهول واسعة الامتداد وتتغطى أحيانا ببعض الرواسب والكائنات البحرية المختلفة . وقد اعتقد جيولوجيو بريطانيا فى القرن التاسع عشر أن معظم السهول التحاتية فى

---

(1) a - Abou-El-Enin H. S., "An examinatton of surface forms", Ph. D. Thesis, Univ. of Sheffield., 1964.

b - Abou-El-Enin, H. S., "Some aspects of drainage evolution" North Univ. Geog. Jour., Birmingham N. 5 (1964) 45 - 54.

(2) Baulig, H. "The changing sea-level", The Institute of British Geographers., Trans and Papers, No. 3 (1935). 1 - 46.

(3) Baulig, H., "Surface d'aplanissement" Annales dr Geographie, vol. 61. (1952), 161 - 183 et 245 - 262.

الجزر البريطانية عبارة عن سهول بحرية كونها البحر القديم ابان تراجعه عن اليابس خلال العصور الجيولوجية المختلفة .

وقد رجح الأستاذ وليم موريس دافيز بأنه من النادر أن يعثر الباحث على أدلة تثبت نشأة السهول التحاتية البحرية بصورة يقينية ، ذلك لأن معظم الرواسب البحرية السطحية تتلاشى وتتآكل تدريجيا بفعل عوامل التعرية المختلفة خاصة اذا كانت هذه السهول البحرية قديمة العمر . ولكن قد تتبقى بعض هذه الرواسب فوق أجزاء من السهل التحاتى البحرى الحديث النشأة . وقد رجح الأستاذ «سبارك *Sparks, B. W*» [1] أن بعضاً من هذه الرواسب البحرية فوق السهل التحاتى البحرى قد تتشكل بفعل التعرية الهوائية *Subaerial Erosion* ، وينجم عن ذلك صعوبة التمييز بين كل من الرواسب البحرية والرواسب القارية . وقد أطلق سبارك على مثل هذه السهول تعبير *Marine-trimmed Plains* لكى ترمز إلى تلك السهول البحرية النشأة والتى عدل فى مظهرها الثانوى عوامل التعرية الهوائية الأخرى وذلك بدلا من تعبير السهول البحرية *Marine Plains* .

وقد أكد الأستاذ هنرى بوليج *H. Baulig* عام ١٩٥٢ ، أن معظم سطوح بقايا السهول التحاتية البحرية تغطيها رواسب من الحصى وصخور المجمعات (الكونجلومرات) *Conglomerate* دلالة على شدة نحت أمواج البحر القديم فى الصخور والتى تتفتت بدورها لتكون الفرشات الارسابية التى تغطى هذه السهول . وتتلخص أهم الخصائص الجيومورفولوجية التى تميز السهول التحاتية البحرية عن غيرها من أنواع السهول التحاتية الأخرى بما يلى :

(أ) حدوثها على شكل مصاطب سلمية *Staircases of Terraces* تمتد موازية لخط الساحل المجاور (لوحة ٦٦) .

---

(1) Sparks. B. W., "Geomorphology" (1960), 334 - 362.



(لوحة ٦٦) مصطبة بحرية حديثة التكوين فى ساحل شمال شرق اسكتلندا

(ب) استواء أسطحها وتشابه مناسيب أجزائها المختلفة هذا بالاضافة إلى ضعف تضرسها *Very faint relief* بدرجة أعلى منها اذا ما قورنت بأى نوع آخر من السهول التحاتية .

(جـ) تتميز الحافات الصخرية التى تشكل كل من مقدمة السهل التحاتى البحرى ومؤخرته والتى تفصل مجموعة ما من بقايا هذا السهل عن مجموعة أخرى بأنها جروف صخرية حائطية شديدة الانحدار *Wall-like Cliff* . هذا بخلاف الحافات الصخرية التى تصاحب تكوين السهول التحاتية النهرية التى تتميز عادة بظاهرات جيومورفولوجية ثانوية متعددة .

(د) ولكن أهم ما يميز السهول التحاتية البحرية كذلك هو العلاقة بين التصريف النهرى وأشكاله فوق هذه السهول ونظام التركيب الصخرى الذى تكون فوقه . فإذا غطيت بقايا السهل التحاتى البحرى بطبقات سميكة من الرواسب البحرية بالتالى تتكون المجارى النهرية فى بداية نشأتها فوق هذه الرواسب وتشق لنفسها مجارى نهرية يتوقف امتدادها

تبعا لاختلاف انحدار سطح الرواسب . وفى مرحلة متعاقبة سرعان ما تتآكل الرواسب البحرية فى نفس الوقت التى تطبع فيه الأنهار مجاريها فوق الصخور السفلية بنفس الشكل الذى تكونت به أصلا فوق الرواسب البحرية العليا . ومن ثم يعرف التصريف النهرى فى هذه الحالة بأنه تصريفا نهريا منطبعا *Superimposed Drainage* .

أما إذا لم تتكون طبقات ارسابية بحرية فوق بقايا السهل التحاتى البحرى فتتبع المجارى فى هذه الحالة اتجاه أى أو كل من الانحدار العام نحو الشاطئ *Beach Gradient* ، أو الانحدارات الشديدة التى تنجم عن تأثير السهول البحرية بحركات رفع تكتونية بسيطة *Tilt or Uplift* .

ويلاحظ أن أشكال التصريف النهرى فوق السهول التحاتية البحرية فى أى من الحالتين السابقتين يختلف عن ذلك الذى يتكون فوق السهول التحاتية النهرية ، حيث إنه فى الحالة الأولى تصريفا نهريا منطبعا بينما فوق السهول التحاتية النهرية يعتبر تصريفا نهريا متوافقا مع التركيب الصخرى .

ويجب أن نشير كذلك إلى أن عملية التمييز بين السهول التحاتية النهرية وتلك الناجمة عن فعل التعرية البحرية فى الحقل ليست عملية سهلة . ومن أطرف الأدلة على ذلك أنه حدث فى عام ١٩٥٤ أن قام كل من الباحثين سيسونز *J. B. Sissons*(١) من جامعة كمبردج ومالكم لويس *G. M. Lewis* (٢) من جامعة شيفيلد بدراسة السهول التحاتية على السفوح الجنوبية الشرقية لمرتفعات البنين فى جنوب غرب مقاطعة يوركشير . وعلى الرغم من قيامهما بدراسة منطقة واحدة بل وقام كل منهما بعمل أبحاثه الحقلية فى نفس الوقت خلال عام ١٩٥٤ إلا أن كل منهما ، قد رجح مجموعات مختلفة

---

(1) Sissons, J. B., "The ersion surfaces and draingage System..", Proc. York Geological Society, vol 29 (1955) 305 - 342.

(2) Lewis, G. M., "Evolution of the drainage in the Don Basin", M. Sc. Thesis, Univ. of Sheffield, 1954

من السهول ذات مناسيب متباينة ، فقد أكد سيسونز أن السهول التحاتية فى جنوب غرب يوركشير ترجع أصلا إلى فعل التعرية البحرية ، بينما اعتقد لويس أن نشأة هذه السهول ترجع إلى فعل التعرية النهرية وذلك تبعا لمظهرها الجيومورفولوجى وأشكال التصريف النهرى الذى تكون فوقها . ورجح سيسونز كذلك بأن القمم الجبلية المرتفعة فوق مناسيب هذه السهول كانت أصلا جزر فى البحر القديم الذى كان يغطى هذه المنطقة ، بينما أكد لويس بأن هذه القمم عبارة عن جبال انفرادية منعزلة مركبة من صخور صلبة لم تستطع عوامل التعرية الهوائية المختلفة ازالتها . وهذا دليل قاطع على أن الجيومورفولوجيا الدافيزية وملاحظاتها الحقلية تعتمد على خبرة الباحث ورؤيته الذاتية .

٢ - السهول التحاتية الهوائية الجبلية *Pediplains* :

أول من استخدم هذا التعبير السابق فى الدراسات الجيومورفولوجية هما الباحثان ماكسون وأندرسون *Maxon and Anderson* (١) وذلك فى عام ١٩٣٥ ، لكى يشير إلى السهول التحاتية الهوائية فى المناطق الصحراوية ، وتنشأ هذه السهول فى نهاية الدورة التحاتية فى هذه المناطق الأخيرة عندما تتآكل الطبقات الصخرية وتتراجع خلفيا ليحل محلها سهولا مستوية السطح مغطاة بالرواسب والمفتتات الصخرية وقد يشكل بعض أجزائها كذلك جبال انفرادية منعزلة ، وتعرف عملية تآكل الجوانب الصخرية للحافات وبالتالى توالى أو استمرار اتساع هذه السهول تحت أقدامها باسم سهول اقدام المرتفعات *Pedi planation* .

وقد استخدم هذا التعبير الأستاذ هوارد *Howard, A. H.* (٢) فى عام ١٩٤٢

---

(1) Maxon. J. H. and Anderson, G. H. "Terminology of surface forms of the erosion cycle", Journal Geology, vol. 43 (1963), 88 - 96.

(2) Howard, A. D., "Pediment passes and the pediment problem" Journal of Geomorphology, vot. 5 (1941) 2 - 31 and 95 - 136.

حيث أطلق على السهول التحاتية الهوائية الصحراوية فى مناطق البديمنت *Pediment* اسم *Pediplains* . ويستخدم هذا التعبير فى الدراسات الجيومورفولوجية الحديثة لكى يرمز إلى السهول التحاتية الهوائية الصحراوية المغطاة بالرواسب والمفتتات الصخرية من ناحية ، والتى كثيرا ما تحيط حوافها الحدية أو الهامشية حافات صخرية عالية أو جبال انفرادية منعزلة تدل دلالة واضحة على توالى عمليات التراجع الخلفى للحافات الصخرية *Scarp Recession* بواسطة عوامل التعرية المختلفة من ناحية أخرى .

وأهم ما يميز السهول التحاتية الهوائية الصحراوية سطحها واختلاف درجة انحدارها . فيتشكل سطح هذه السهول تبعا لفعل الرياح كعامل نحت ونقل وارساب ، كما أنها تأخذ فى الارتفاع التدريجى صوب موقع الجبال الانفرادية أو الحافات الصخرية المتراجعة . هذا بخلاف الحال مثلا بالنسبة للسهول التحاتية البحرية التى تنحدر أسطحها صوب شاطئ البحر القديم أو السهول التحاتية النهرية التى تنحدر أسطحها نحو قاع الوادى النهرى القديم .

ومن السهل تمييز السهول التحاتية الهوائية الجبلية فى المناطق الصحراوية الحالية ، وكذلك فى المناطق الأخرى التى دلت نتائج الدراسات المناخية المختلفة على أنها كانت خلال بعض العصور الجيولوجية مناطق صحراوية لمدة طويلة من الزمن . وعند تمييز مثل هذه السهول التحاتية الهوائية الجبلية القديمة فى المناطق المعتدلة اليوم ، لابد أن يستند الباحث على أدلة علمية تثبت حقيقة نشأتها ، ومن بين أهم هذه الأدلة رواسب السبخات البحيرية الصحراوية . وحيث أن المناطق المعتدلة لا تعتبر بلا شك مناطق صحراوية فى الوقت الحاضر على ذلك فإن وجدت أدلة لمثل هذه السهول الصحراوية فهى عبارة عن أدلة مدفونة أسفل الطبقات الصخرية الأحدث عمرا *Exhumed Surface* ونشأت تحت ظروف مناخية مختلفة عن مناخ اليوم .

ومن أحسن أمثلة هذه السهول التحاتية الهوائية الصحراوية المدفونة القديمة

فى فرنسا هى تلك التى تتمثل فى أعالى وأواسط نهر اللوار ويرجع عمرها إلى الزمن الجيولوجى الثالث عندما تعرض وسط أوربا وجنوبها للمناخ الحار الجاف .

٤ - السهول التحاتية فى المناطق الجليدية وشبه الجليدية :

اعتقد بعض الكتاب أن عوامل التعرية الجليدية وشبه الجليدية قادرة على على تكوين سهول تحاتية مختلفة . بل أكد البعض حدوث دورة تحاتية *Glacial and Periglacial Cycles* فى كل من المناطق التى تأثرت بهذه العوامل (١) . وتجدر الإشارة إلى حقيقة مهمة وهى أن عصر البلايوستوسين يعد عصرا قصيرا جدا فى المقياس الجيولوجى إذ لا يزيد عمره الجيولوجى عن مليون سنة فقط . فإذا أفترضنا أن نحو نصف هذه المدة كانت عبارة عن فترة دفيئة أو شبه دفيئة فيتبقى اذن النصف الآخر الذى تعرضت فيه مناطق سطح الأرض لكل من فعل التعرية الجليدية وشبه الجليدية الحقيقية . ومهما كان مدى فعل هذه العوامل من القوة والشدة فإنه من الصعب اعتبارها قادرة على تكوين سهول تحاتية مترامية الأطراف ذلك لأنه يلزم لنمو هذه السهول الأخيرة مدة طويلة من الزمن الجيولوجى .

وإن كانت عوامل التعرية الجليدية وشبه الجليدية قادرة على تكوين سهول تحاتية ، فيمكن القول بأن مثل هذه السهول تعتبر مناطق سهلية محلية محدودة الامتداد . فقد تلاحظ مثل هذه السهول تحت أقدام الحلبات الجليدية تبعا للتراجع الخلفى لهذه الظاهرة الأخيرة *Cirque Recession* ، وبالتالى تتآكل السفوح الجبلية وتتعمق الحلبة الجليدية فى الجبال نفسها ، وتبلى جوانب شديدة الانحدار ، عالية التضرس ويطلق عليها اسم السيوف المسننة أو المشرشرة *Aretes* .

---

(1) Peltier. L., "The Geographic cycle in periglacial regions.." Assoc. Amer. Geog. Ann. vol. 40 (1959), 214 - 236.

وقد اعتقد بعض الباحثين كذلك أن الغطاءات الجليدية تعمل على تسوية السطح وتكوين سهول تحاتية مترامية الأطراف كما حدث فى الكتلة اللورنشية *Laurantian Shield* فى أمريكا الشمالية . ولكن أكد الأستاذ هنرى بوليج عام ١٩٥٢ بأن فعل الغطاءات الجليدية لا يتعدى سوى تعديل المظهر الجيومورفولوجى لسطوح تعرية سابقة أو بمعنى آخر لسهول تحاتية كانت أصلا موجودة من قبل وأن هذه الغطاءات تقوم بفعل الارساب أكثر من قيامها بفعل النحت .

وتتفق آراء الكاتب مع اقتراحات الأستاذ «بوليج» حيث دلت نتائج دراسة السهول التحاتية فى جنوب غرب يوركشير عام ١٩٦٤ على أن الرواسب الجليدية والطفل الجليدى *Glacial Drift* حول مدينة دونكستر *Dencaster* نجحت فى أن تغطى سهولا تحاتية قديمة وبالتالى أصبحت هذه الأخيرة عبارة عن ظاهرة مدفونة تحت الرواسب الجليدية ، بينما كونت الرواسب الجليدية فى نفس الوقت سهولا ظاهرية مستوية السطح *Superficial Surface* لا يرجع استوائها إلى نشأتها فى نهاية دورة تحاتية ما ، ولكن إلى خصائص ارساب هذه المفتتات الجليدية وملئها المقعرات السطحية وتسويتها لتضاريس سطح الأرض .

وقد رجح الأستاذ بلتير *Peltier* فى عام ١٩٥٠ ، دورة تحاتية للمناطق شبه الجليدية *Periglacial Regions* . فقد أوضح أن الحافات الصخرية فى هذه المناطق تعرضت لفعل تتابع التجمد والانصهار *Freeze - thaw Action* خلال تتابع كل من الفترات الباردة والدفيئة . وقد نجم عن هذه العملية ازدياد تشقق الصخور وتعميق فتحات المفاصل بها . وعلى ذلك تعرضت الكتل الصخرية لفعل التساقط والانزلاق . وتبعا لتراكم المفتتات الصخرية تحت أقدام الحافات الجبلية تتدفق إلى أسفل المنحدرات بمساعدة فعل الجاذبية من جهة وتبعا لتشبعها بالمياه المنصهرة أسفل الثلوج من جهة أخرى . ومن ثم تتكون رواسب سميكة تنحدر إلى باطن الأودية على شكل غطاءات واسعة

الانتشار تعرف باسم *Soliflucation Deposits* . وتساعد الغطاءات الارسابية على ملء المقعرات وبطون الأودية من ناحية ونحت صخور المناطق المحدبة من السطح من ناحية أخرى . وبالتالي تطمس معظم ظواهر السطح وتعمل على تسويته وتكوين سهول تحاتية محلية .

وقد أكد الأستاذ سبارك *Sparks, 1960* (١) ، أنه على الرغم من شدة فعل عوامل التعرية في المناطق شبه الجليدية ، الا أنه من الصعب قبول فكرة نشأة السهول التحاتية بواسطة هذه العوامل حيث تبين أن أثر هذه العوامل السابقة لا يتعدى تعديل المظهر الجيومورفولوجي العام لسهول تحاتية قديمة كانت موجودة قبل تعرضها لهذه العمليات .

وقد قام الكاتب بعمل دراسة تفصيلية للسهول التحاتية التي تشغل أعالي حوض النهر الدن *Don* على السفوح الجنوبية الشرقية لمرتفعات البنين في داربي شير و يوركشير بانجلترا في عامي ١٩٦٢ و ١٩٦٤ على التوالي وقد تبين أن فعل عوامل التعرية خلال الفترات شبه الجليدية كان من الشدة حتى أدى إلى تكوين ظواهر جيومورفولوجية جديدة لم تكن موجودة في المنطقة قبل تعرضها للتعرية شبه الجليدية بالاضافة إلى تشكيل ظاهرات قديمة وتعديل مظهرها الجيومورفولوجي . ومع ذلك فقد لاحظ الكاتب مجموعة من السهول التحاتية النهرية ، يرجع أقدمها عمرا إلى أواسط الزمن الثالث ، وأحدثها إلى فترة ما بعد جليد البلايوستوسين *Post-glacial Period* ، ومع ذلك لم تستطع عوامل التعرية شبه الجليدية من أن تكون سهولا تحاتية بنفسها أو تزيل السهول التحاتية القديمة ، بل توقف مداها على تشكيل المظهر العام لسطح الأرض بواسطة تغطيته بالرواسب السميكة التي تتألف من صخور الحافات الجبلية المفتتة بفعل الصقيع الشديد *Frost Action* ، وتوالي عمليات التجمد والانصهار .

---

(1) Sparks, B. W. "Geomorphology", London (1960), 344 - 362.

٥ - السهول التحاتية المدفونة :

تختلف هذه المجموعة من السهول عن تلك التى سبق الحديث عنها فى أنها تكونت خلال عصور جيولوجية قديمة ثم غطيت بواسطة غطاءات من الرواسب أو طبقات صخرية أحدث عمرا أدت إلى دفنها أسفل منها . ومن ثم قد تدل هذه السهول فى بعض الأحيان على عدم التوافق بين الطبقات *Unconformities* ولكن يجب أن نضع فى الحسبان بأنه من الخطأ اعتبار كل الطبقات التى تمثل حالة عدم توافق بينها وبين ما يعلوها من صخور سهولا تحاتية .

ومن بين أظهر أمثلة هذه السهول المدفونة تلك التى لاحظ وجودها الأستاذ سويتنج *Sweeting 1950* (١) فى إقليم انجلبره *Ingleborough* فى القسم الجنوبى من مرتفعات البنين بانجلترا . وتتألف التكوينات الصخرية فى هذا الإقليم من طبقتين رئيسيتين هما :

(أ) تكوينات سفلية تتركب من صخور العصر الكربونى الجيرية الصلبة .

(ب) طبقات متداخلة علوية مركبة من صخور جيرية ، وصلصالية وصخور رملية تعرف باسم صخور يوريدال *Yoredales* .

وقد أكد الأستاذ سويتنج تكوين سهل تحاتى نهرى على ارتفاع ١٣٠٠ قدم فوق سطح البحر فوق الصخور العليا الجيرية ، الا أن بقايا هذا السهل تمتد كذلك أسفل تكوينات مجموعة يوريدال الحديثة ، ومن ثم يمكن اعتبار الامتداد العام لبقايا هذا السهل أسفل صخور مجموعة بوريدال سهولا تحاتية مدفونة .

---

(1) Sweeting, M. M., "Erosion cycles and limestone caverns in the Ingleborough District". Geographical Journal, vol. 115 (1950), 63 - 78.

الباب السادس

جيومورفولوجية المناطق الحارة

والمناطق الجليدية

الفصل العشــــــرون : بعض الظاهرات الجيومورفولوجية فى المناطق الحارة الجافة .

الفصل الحادى والعشرون : التصنيف الجيومورفولوجى لسطح المناطق الحارة الجافة .

الفصل الثـــانى والعشرون : فعل الجليد .

(أ) الجليد البلايوستوسينى

(ب) الجليد المعاصر .

الفصل الثالث والعشرون : بعض الظاهرات الجيومورفولوجية فى المناطق الجليدية .

الفصل الرابــع والعشرون : أهمية الدراسة الجيومورفولوجية .

الفصل العشرون

بعض الظاهرات الجيومورفولوجية فى المناطق الحارة الجافة

يعد تعبير «صحراء» *Desert* تعبيرا مناخيا يرمز إلى المناطق التى تتميز بندرة سقوط الأمطار خاصة إذا كانت تقل عن ١٠ ملليمتر فى السنة ، وارتفاع درجة الحرارة التى قد يزيد متوسطها السنوى عن ٣٠° م وعلى ذلك فمن سيمات هذه المناطق ندرة غطائها النباتى وان وجد فيتمثل فى بعض النباتات الشوكية التى تتحمل الجفاف الشديد .

وقد أوضح الأستاذ ويستر فى قاموسه عام ١٩٠٩ (١) ، أن المقصود بتعبير «الصحارى الحارة» تلك الأقاليم الحارة الجافة فى العروض المدارية ، وبالتالى ان وجدت فيها بعض النباتات المبعثرة فهذه بدورها تتحمل الجفاف ولا تحتاج فى نموها لكميات كبيرة من المياه . وتتميز أراضى الصحراء بأنها جرداء لا تشجع على اكتظاظ السكان أو تجمعهم فى بقاعها اللهم الا اذا اعتمدوا فى مواقع محلية منها على مياه الآبار والعيون المائية . وقد جاء فى قاموس قسم الأرصاد الجوية التابع لسلاح الطيران البريطانى عام ١٩٤٤ (٢) أن كلمة «صحراء» تطلق على تلك الأراضى التى تتميز بارتفاع درجة حرارتها وندرة سقوط الأمطار عليها ، وبالتالى يزيد مقدار التبخر عن مقدار التساقط كما أن نسبة الرطوبة فى التربة غير كافية لنمو حياة نباتية غنية . أما الأستاذ شانتز *Shantz* (٣) . فقد أوضح فى كتابه عام ١٩٢٣ ، أن تعبير «صحراء» يعد تعبيرا

---

(1) Webster, A., "Webster's International Dictionary", 2nd edit (1909), Springfield, Mass. U. S. A.

(2) Air Ministry, Meteorological Office, "The Meteorological glossary" 3 edit., London H. M. S. O., (1944)

(3) Shantz and Marbut, "Vegetation and soil of Africa" 1923.

نباتيا يدل على جزء ما من سطح الأرض بحيث تغطى الرمال معظم بقاعه ومن النادر أن يجود به أى نبات طوال السنة سوى بعض الشوكيات المتناثرة فى الأراضى التى تتميز تربتها ببعض الرطوبة .

وقد ميز الأستاذ ستامب *Stamp* (١) فى قاموسه الجغرافى عام ١٩٦١ بين كل من :

(أ) الصحارى التى يوجد فيها بعض الشوكيات وأطلق عليها تعبير *Tame Desert* .

(ب) الصحارى الحقيقية القاحلة الخالية من النباتات *True Desert* .

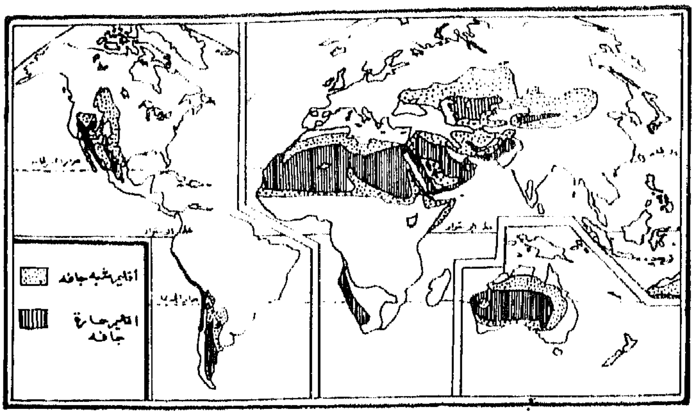
وتجدر الاشارة كذلك إلى أن بعض الكتاب استخدموا تعبير صحراء *Desert* ، ليدل على المناطق الجليدية القاحلة فى العروض الباردة والقطبية ولكن يحسن فى هذه الحالة أن يميز بين كل من الصحارى «الحارة» وتلك «الباردة» . ولذا أطلق جريفر *Gerver* عام ١٩٥٤ على المناطق الجليدية القاحلة اسم «الصحارى البيضاء» *The White Desert* . بينما رمز إليها هانتينجتن *Huntington, 1951* بتعبير «الصحارى الباردة» *Cold Desert* .

وقد تباينت أبعاد أقاليم الصحارى الحارة الجافة فى العالم فى التصنيفات المناخية وذلك حسب الأسس التى اعتمد عليها كل عالم مناخى عند تصنيفه للأقاليم المناخية عامة وللصحارى الحارة الجافة خاصة (راجع أبو العينين ١٩٨٩ - أصول الجغرافيا المناخية) .

ويختص الحديث التالى بدراسة بعض الظاهرات الجيومورفولوجية التى تشكل سطح الصحارى الحارة الجافة فى العروض الوسطى ، وهى التى تتميز بأن المتوسط السنوى لدرجة حرارتها نحو ٨٦° ف ولا يزيد كمية المطر السنوى عن ٤ بوصات (شكل ١٢٣) .

---

(1) Stamp., L. D., "A glossary of geographical terms", London, 1961.



(شكل ١٢٣) التوزيع الجغرافى للصحارى الحارة الجافة فى العالم

وتبعا لندرة سقوط الأمطار في مناطق الصحارى الجافة فمن النادر كذلك أن تتكون فوق أراضيها مجارى نهرية دائمة الجريان . ولكن فى بعض الحالات الشاذة قد تتمثل مجارى أنهار طويلة هائلة الامتداد تشق الصحارى الحارة الجافة ، وتتميز باستقامة مجاريها وتعرض مياهها لكل من فعل التبخر والتسرب ، وأن مصدر مياهها يتمثل في مناطق أخرى قد تبعد مئات الأميال عن نطاق الصحارى الحارة الجافة . ومن بين أمثلة هذه الأنهار كل من أنهار النيل والسند وكلورادو والنيجر .

ويتألف الشكل العام للتصريف النهرى فى المناطق الصحراوية الحارة الجافة من مجارى نهرية قصيرة غير دائمة الجريان ، وكثيرا ما تتلاشى أجزاء من مجاريها فى بعض الفصول وقد تظهر على شكل برك مائية صغيرة *Pools* ، أو برك ملحية *Salt Lakes* ، أو تتعرض كل مياه النهر للتبخر والتسرب ويصبح قاع النهر على شكل أراضى مستوية السطح مغطاة بالطين القلوى *Alkali Mud Flats* . ومن ثم تختلف أشكال التصريف النهرى فى الصحارى الحارة الجافة عنه فى المناطق الغزيرة الأمطار . فبينما تتجمع المسيلات المائية الصغيرة مع بعضها البعض فوق المنحدرات الشديدة فى المناطق الغزيرة الأمطار وتتجه صوب الانحدارات الدنيا إلى أن تصب فى بحر أو بحيرة ، وتزداد كمية المياه فى النهر كلما اتجهنا جنوبا نحو مصبه ،

نلاحظ أن الوديان الجبلية فى المناطق الصحراوية الحارة تتجمع كذلك مع بعضها البعض وتنحدر نحو الأجزاء الدنيا الا أنه كلما بعدت عن منابعها الأولى انخفضت كمية المياه في مجارى هذه الأودية . هذا بالاضافة إلى أن معظم مصبات هذه الأودية الأخيرة تتمثل فى الأحواض الداخلية أو المغلقة *Closed-or Interior Basins* أو قد تفقد المجار النهرية مياهها تبعا لفعل تسرب المياه فى الصخور المسامية المنفذة للمياه .

ومن أهم ما يميز الأودية الجافة والمجارى النهرية غير الدائمة الجريان فى الصحارى الحارة الجافة كذلك هو كيفية تشكيل قاعها أو أرضيتها بالرواسب الفيضية . فبدلا من أن يحمل النهر حمولته ويصبها فى البحر أو البحيرة التى يتجه صوبها كما هو الحال عادة بالنسبة لأنهار المناطق الغزيرة الأمطار ، تتميز مجارى المناطق الصحراوية الحارة (تبعا لقصر فترة سقوط الأمطار التى لا تزيد عن ساعتين كل مدة طويلة تبلغ عدة شهور أو كل بضع سنوات) بقصر فترة جريان النهر التى لا تدوم أكثر من بضع ساعات ومن ثم لا يتمكن المجرى النهرى من أن يحمل رواسبه إلى مسافات بعيدة عن أصل مصادرها الأولى ، بل ينقلها مسافة لا يزيد بعدها عادة عن بضع مئات من الأمتار أسفل منطقة المنبع . وتتجمع هذه الرواسب على شكل ركامات هائلة أو تتخذ شكل مخروطات وغطاءات مروحية ارسابية تشكل قاع الوادى .

وقبل أن نتحدث عن بعض الظاهرات الجيومورفولوجية فى مناطق الصحارى الحارة الجافة يحسن أن نشير باختصار إلى أهم العوامل التى تقوم بكل من فعل التجوية والنحت والنقل والارساب فى هذه المناطق .

أهم العوامل التى تؤثر فى تشكيل سطح
مناطق الصحارى الحارة الجافة

تتشكل مناطق الصحارى الحارة الجافة بعدة عوامل تحاتية خاصة تختلف عن تلك فى معظم جهات سطح الأرض الأخرى وذلك تبعا لما يلى :

(أ) ندرة وجود الغطاءات النباتية فوق أرض هذه الصحارى ، وتبعا لذلك تتعرض أجزاء سطح الأرض للتعرية والتفكك وحدوث عمليات زحف التربة على طول المنحدرات الشديدة خاصة عند سقوط الأمطار الاعصارية .

(ب) تشكيل معظم المجارى النهرية التى تتكون فوق أرض الصحارى الحارة الجافة بالتصريف النهرى الداخلى ، وعلى ذلك فلا تتأثر مجارى هذه الأودية النهرية بمستوى القاعدة العام ، بل تنحت مجاريها رأسيا تبعا لمستوى القاعدة المحلى .

(جـ) تتميز مناطق الصحارى الحارة الجافة بارتفاع المدى الحرارى اليومى والفصلى ، وذلك تبعا لاتساع اليابس وقلة المسطحات المائية والبعد عن البحر (قارية المناخ) ، وهذه الخاصية لها أثرها الواضح فى فعل كل من التجوية والتعرية .

وتتلخص أهم العوامل التى تساعد على تشكيل المظهر الجيومورفولوجى العام لسطح الصحراء فيما يلى :

١ - التجوية *Weathering* :

تبين أن تحلل الصخر وتفتته فى المناطق الصحراوية الحارة الجافة يتم ببطء شديد اذا ما قورن بتحلله وتفتته فى المناطق الرطبة ، وذلك يرجع إلى ندرة سقوط الأمطار ، وقلة نسبة الأكاسيد العضوية فى تربة المناطق الصحراوية الحارة . وعلى سبيل المثال لم تتعرض مسلة كيلوباترة التاريخية إلى فعل التجوية الشديدة منذ انشائها فوق أرض مصر حتى أوائل القرن

العشرين (لمدة نحو ٣٥٠٠ سنة) ، تبعا لجفاف مناخ جمهورية مصر العربية . ولكن بعد نقلها إلى ميدان سنترال بارك *Central Park* فى مدينة نيويورك *New York* تأثرت هذه المسلة بفعل التجوية تأثرا شديدا فى مدة قصيرة بلغت نحو ٥٠ عاما ، وكان لزاما على المسئولين ترميمها واصلاحها وتوالى العناية بها كل سنة حتى يمكن أن تظل هذه المسلة محتفظة بشكلها العام . ومن ثم يمكن القول أن فعل التجوية الكيميائية محدود فى الصحارى الحارة الجافة تبعا لندرة المياه .

أما أهم مظهر لفعل التجوية الميكانيكية فى المناطق الصحراوية الحارة الجافة فهو فعل تفتت الصخر تبعا لتوالى عمليات تمدد وانكماش معادن الصخر نفسه بواسطة الحرارة الشديدة نهارا والبرودة الشديدة ليلا . وتعرف عملية تفتيت الصخر فى هذه الحالة باسم تقشير الصخر وتفتته *Exfoliation* وقد لاحظ الباحث حدوث هذه العملية فى أسطح صخور بعض أجزاء من إقليم المغارة بشمال شبه جزيرة سيناء وفى جبل حفيت فى دولة الامارت العربية المتحدة ومرتفعات جال الزور بدولة الكويت .

٢ - تطاير المفتتات الصخرية وغسل سطح الأرض :

Rainsplash and Rillwash

عندما تتعرض بعض أجزاء من الصحارى الحارة الجافة لسقوط الأمطار الاعصارية الفجائية الغزيرة ، لا يحد من شدة سقوطها على سطح الأرض أى عوائق هامة «مثل الغطاءات النباتية» ، ومن ثم تسقط الأمطار بقوة مباشرة على المفتتات الصخرية التى ترتكز فوق المنحدرات الشديدة مما يؤدى إلى تطاير الحبيبات الصخرية فى الجو بفعل الأمطار *Rainsplash* ويساعد حدوث هذه العملية على نقل المفتتات والحصى إلى ما تحت أقدام الحافات الصخرية والمنحدرات الشديدة .

وأثناء الفترة القصيرة لسقوط الأمطار ، تتكون كذلك المسيلات والجداول الجبلية التى تنحدر بسرعة شديدة من أعالى المنحدرات وتتجه صوب الأجزاء

الدنيا المنخفضة . وقد تبدو المياه أحياناً على شكل غطاءات مائية لا يحددها أى مجارى معينة ، وتبعا لاتساعها وامتدادها تجرف كل ما يقع أمامها من رواسب ومفتتات صخرية صوب الأجزاء الدنيا من المنحدرات . ومن ثم تغسل هذه المنحدرات من الرواسب التى كانت تشغلها من قبل وتعرف هذه العملية باسم غسل الأرض *Rillwash* .

٣ - انسيابات الطين *Mud Flows* **والفيضانات الغطائية** *Sheet Floods* :

عندما تسقط الأمطار الاعصارية الفجائية الغزيرة *Cloudbursts* فوق أرض الصحارى الحارة الجافة تبعا لخروج الأعاصير عن مسالكها المألوفة تتأثر بقاع محدودة من الصحراء بهذه الأمطار الغزيرة بينما قد لا تسقط أى كمية من الأمطار فى المناطق الأخرى المجاورة لها . واذا تصادف سقوط هذه الأمطار فوق بعض السفوح الجبلية الشديدة الانحدار تتكون عادة الأنهار الجبلية السريعة الجريان *Gullies* التى تشق لنفسها أودية عميقة على طول هذه المنحدرات . وتبعا لشدة سرعتها وانحدار مجاريها يمكن لها أن تحمل كميات هائلة من المفتتات الصخرية المختلفة الحجم ، وعلى ذلك يتميز مجرى النهر نفسه بضخامة حمولته من الرواسب الرملية والطينية المختلطة مع المياه . ومن ثم تجرف هذه الكتلة المختلفة من المواد معظم ما يقع أمامها من عوائق. وقد لوحظت هذه العملية فى منطقة كاجون باس *Cajon pass* فى كاليفورنيا ، حيث جرفت الانسيابات الطينية أمامها قاطرة بخارية ودفعتها أكثر من ميلين ، ثم غمرتها بعد ذلك بكميات هائلة من الرواسب بلغ ارتفاعها نحو ٢٥٠ قدم فوق سطح الأرض .

وعندما تنتهى هذه الانسيابات الطينية من رحلتها فوق أسطح الانحدارات الشديدة لكى تكمل دورتها فوق الأراضى السهلية المستوية تحت أقدام المرتفعات تهبط سرعتها فجأة ، ويقل حدة نشاطها . وعند توقف سقوط الأمطار فجأة كذلك تتوقف عملية تحرك الانسيابات الطينية ومن ثم تتراكم الرواسب (التى تتألف من حبيبات صخرية مختلطة ومتباينة من حيث الشكل

والحجم *Heterogenous Material*) أما على شكل غطاءات ارسابية *Sheet deposits* أو على شكل دلتاوات فيضية مروحية *Alluvial Fans* .

وعندما تنساب المياه فى الأودية الجبلية مرة ثانية ، وتصل إلى منطقة الرواسب فوق السهول المستوية والدلتاوات الفيضية المروحية تفقد عادة قدرتها على شق مجار عميقة فوق هذه الرواسب المنفذة للمياه تبعا لارتفاع مساميتها. ومن ثم لا تقوم المياه بعمليات النحت الرأسى وتنساب على شكل فرشات أو غطاءات هائلة الاتساع والامتداد ، رقيقة السمك ويطلق عليها فى هذه الحالة تعبير الفيضانات الغطائية *Sheet Floods* .

٤ - تحرك رواسب السطح فى المناطق الصحراوية الحارة الجافة :
Downslope Movements

تبعا لاختلاف عوامل التعرية فى المناطق الصحراوية الحارة الجافة ، تميزت أسطح هذه المناطق بتكوينها من انحدارات خاصة تتنوع فيها اشكال المظهر العام للسطح وتختلف عن غيرها من أجزاء سطح الأرض ، وتبعا لتوالى عمليات التجوية البطيئة على طول أسطح الشقوق والفوالق الصخرية للحافات الجبلية فى المناطق الصحراوية الحارة سرعان ما تتسع فتحات هذه الشقوق وينجم عنها ضعف الصخر جيولوجيا وفتح المجال لعوامل التعرية الأخرى فى أداء عملها وتسوية سطح الأرض . وعلى ذلك تتشكل معظم أقدام الانحدارات الشديدة لسطح مناطق الصحارى بتكوين أهرامات من المفتتات الصخرية . وتعبا لتآكل قمم الحافات الصخرية أو أعالى المنحدرات من جهة وارساب المفتتات الصخرية تحت أقدام الحافات أو أسفل هذه المنحدرات من جهة أخرى ، يتركب الشكل العام للانحدارات فى مناطق الصحارى الحارة من انحدارات علوية محدبة *Upper Convexites* وأخرى سفلية مقعرة *Lower Concavitiee* .

وتتنوع أشكال المنحدرات فى المناطق الصحراوية الحارة كما تختلف سرعة انسياب المفتتات الصخرية فوق هذه المنحدرات كذلك تبعا لعدة عوامل

أهمها :

(أ) التكوين الصخرى للمنحدرات نفسها .

(ب) اختلاف حجم المفتتات الصخرية وتنوع أشكالها .

(جـ) مدى تعرض المنحدرات لفعل سقوط الأمطار الاعصارية .

(د) درجة انحدار السطح ، حيث تتوقف عليه مدى فعل الجاذبية الأرضية فى نقل الرواسب صوب الأجزاء الدنيا من المنحدرات .

(هـ) مدى تأثر الحافات الصخرية بالأودية الجبلية العميقة *Gullies* والتى تعمل على تآكل الحافات وتراجعها خلفيا من ناحية ، واعداد مواد ومفتتات جديدة لارسابها أسفل هذه الحافات من ناحية أخرى .

(و) شكل الغطاء النباتى فوق أسطح المنحدرات .

٥ - فعل الرياح :

يعد فعل الرياح من أهم العوامل التحاتية الدائمة الأثر فى تشكيل المظهر الجيومورفولوجى العام لسطح المناطق الصحراوية الحارة الجافة ، وذلك يرجع إلى ندرة الغطاء النباتى ومن ثم لا يعرقل فعل الرياح أى عوائق كبرى تحد من عملها ، وعلى ذلك كانت ولا تزال معظم الظاهرات الجيومورفولوجية الناتجة على السطح فى هذه المناطق هى نتاج فعل الرياح كعامل هدم ونقل وارساب . ولا يتوقف مجال عمل الرياح على الصحراء فقط بل قد تتكون بعض الظاهرات الناجمة عن فعلها فى مناطق أخرى بعيدة عن النطاق الصحراوى نفسه . وعلى سبيل المثال تتأثر السواحل الشمالية لجمهورية مصر العربية بواسطة العواصف الترابية الصحراوية والرمال التى تذروها رياح الخماسين . وتتأثر سواحل فرنسا الجنوبية كذلك بفعل الرياح المحلية التى تهب من صحراء شمال غرب أفريقيا وترسب كميات هائلة من الرمال على طول سواحل فرنسا الجنوبية المطلة على حوض البحر المتوسط .

ويلاحظ أن حمولة الرياح من المفتتات الصخرية تختلف من حيث الشكل والحجم . وتبعا لنقل المفتتات الصخرية الخشنة الكبيرة الحجم نسبيا فهى تعد

أول من يتعرض للسقوط والتراكم عندما تضعف قوة الرياح . ومن ثم لا تبعد كثيرا عن موقع المصادر الأصلية التى اشتقت منها . أما حبيبات الأتربة والرمال الدقيقة الحجم جدا ، فهذه تبقى مدة طويلة معلقة فى الجو وتحمل مع الرياح مسافات بعيدة عن المصادر التى اشتقت منها .

وتجدر الاشارة إلى نقطة أخرى وهى أن سمك نطاق الرياح الحاملة للرمال أثناء حدوث العواصف الرملية فى الصحارى الحارة لا يزيد عادة عن عشرة أمتار ، وعلى ذلك يبدو جو الصحراء صافياً تماما فوق أعالى هذه الطبقة الجوية السفلى التى يكثر فيها الرمال . ولكن فى بعض الأحيان الشاذة قد يبلغ ارتفاع العواصف الرملية أكثر من ٤٥ مترا ، خاصة بالقرب من المناطق التى تنتشر فوقها الرواسب الطينية الفيضية الدقيقة الحبيبات . وتتألف هذه العواصف الأخيرة من الأتربة الدقيقة الحجم بدلا من الرمال ، ويطلق عليها تعبير العواصف الترابية *Dust Storms* . وحيث إن للرياح الأثر الكبير فى تشكيل الظاهرات الجيومورفلوجية فى مناطق الصحارى الحارة الجافة ، لذا سنشير إلى أهم ظاهرات السطح الناشئة عن أثر فعل الرياح كعامل نحت وارساب .

أولا : الظاهرات الجيومورفولوجية الناتجة تبعا لأثر فعل الرياح كعامل نحت أو هدم :

يمكن القول أن فعل الرياح كعامل هدم ينحصر فى نقطتين هما :

(أ) حمل الرياح ذرات الرمال والمفتتات الصخرية ونقلها من مصادرها الأصلية إلى مناطق أخرى بعيدة تبعا لسرعة الرياح ومدى قدرتها على حمل هذه المفتتات ، ويلاحظ أن قدرة الرياح على نقل المفتتات الصخرية تشتد عندما يزداد الجفاف وعندما يتركب السطح من رمال مفككة غير متماسكة ويندر فيه وجود الغطاءات النباتية وتعرف هذه

العملية باسم هبوب الرياح *Deflation* (١) .

(ب) أثناء هبوب الرياح المحملة بالرمال واصطدامها بالحافات الصخرية وبما يصادفها من عوائق جبلية تعمل على تعرية صخور الأخيرة تدريجيا . ويلاحظ أن فعل النحت أو الهدم يشتد فى الأجزاء السفلى من الحافات الصخرية وذلك ليس فقط بسبب ليونة الصخر فى الأجزاء السفلى ولكن كذلك تبعا لحجم ما تحمله الرياح من ذرات الرمال وحبيبات الصخر المفتتة خاصة فى الأجزاء السفلى منها والتى تقترب من سطح الأرض . وتبعا لاصطدام هذه الرمال واحتكاكها بقوة فى الصخر تؤدى إلى تكوين مناطق ضعف جيولوجية فى الطبقات السفلية المكشوفة مما قد يعمل فى النهاية على تعريتها وتآكلها بالتدريج . وتعرف هذه العملية باسم فعل كشط أو احتكاك أو سحج أو برى أو تذرية الرياح *Wind Abrasion* .

١ - فعل هبوب الرياح المحملة بالرمال *Deflatian*:

يقل تأثير فعل هبوب الرياح فى المناطق الغزيرة الأمطار أو تلك التى يكسو سطحها الغطاءات النباتية الواسعة الامتداد ، بينما يشتد أثرها فى المناطق الجافة التى يندر فيها تكوين الغطاءات النباتية والتى تتكون أسطحها من ارسابات رملية مكفككة ، كما هو الحال فى مناطق الصحارى الحارة الجافة . ويمكن ملاحظة فعل هبوب الرياح فى المناطق الرطبة كذلك عندما تتجمع بعض الرواسب الرملية على طول الشاطئ على شكل حواجز تمتد بعيدا عن تأثير المد العالى . وعند جفاف هذه الرمال وتفككها قد تنقل بواسطة الرياح إلى أماكن أخرى بعيدة . وتساهد هذه العملية كذلك على طول سواحل

---

(١) يتركب هذا التعبير من مقطعين من اللغة اللاتينية وهما de + flare ومعناها «يهب من» وبالانجليزية to blow from وأطلق بعض على هذا التعبير لفظ «اكتساح الرياح» . وعرف هذا التعبير باسم «التذرية» . فى المصطلحات الجيومورفولوجية التى قام بها المجلس الأعلى لرعاية الفنون والآداب والعلوم الاجتماعية - القاهرة ١٩٦٥ . ويفضل الباحث استخدام تعبير «هبوب الرياح» حيث لا تقوم الرياح هنا بنحت الصخر بل بنقل المواد فقط والهبوب من موقع إلى آخر .

البحيرات الكبرى خاصة سواحل بحيرة متشجان *Lake Michigan* فى الولايات المتحدة الأمريكية .

وفى المناطق الحارة الجافة التى يندر فيها تكوين الغطاءات النباتية من جهة ويتميز نسيج تربتها بتفككه من جهة أخرى ، يشتد فيها فعل هبوب الرياح خاصة أثناء حدوث الرياح المحلية والعواصف الرملية . وتعد هذه العواصف الأخيرة ذات خطورة بالغة على المسافرين فى كل من صحارى آسيا وأفريقيا . وقد تعمل الرياح المحلية على نقل كميات هائلة من الرمال من المناطق الصحراوية وارسابها فى مناطق أخرى بعيدة ، كما هو الحال مثلا بالنسبة لرياح السيروكو التى تحمل كميات كبيرة من رمال صحراء الجزائر وتنقلها إلى بعض السواحل الشرقية لأسبانيا والجنوبية لفرنسا والتى تطل على حوض البحر المتوسط . وكذلك يشتد فعل هبوب الرياح فى الصحارى الحارة الجافة فى الولايات المتحدة الأمريكية (مثل صحراء موجاف *Mojave Desert* ، وصحارى كلورادو ونيفادا ، وأريزونا) حيث تنقل كميات هائلة من الحبيبات الرملية والطينية من أراضى السبخات الملحية الصحراوية *Palaya* بواسطة الرياح وتعمل الأخيرة على ارسابها فى مناطق أخرى قد تبعد مئات الأميال عن المناطق الأولى التى اشتقت منها .

٢ - فعل تذرية أو بري أو احتكاك الرياح وكشطها بالصخور *Abrasion* (١) :

يظهر أثر فعل احتكاك الرياح وكشطها الصخور فى معظم أجزاء سطح الأرض المختلفة الا أنه يشتد أثرها فى مناطق الصحارى الحارة الجافة . ففى المناطق الساحلية فى العروض الباردة والمعتدلة التى تتعرض لتأثير الرياح الشديدة المحملة بالرمال ، قد تفقد زجاج نوافذ المنازل شفافيتها خلال حدوث عاصفة رملية واحدة تبعا لاحتكاك الرياح المحملة بالرمال بزجاج هذه النوافذ.

---

(١) عرفت هذه العملية باسم «البرى بواسطة الرياح» وذلك فى المصطلحات الجيومورفولوجية التى قامت بها اللجنة المختصة فى المجلس الأعلى لرعاية الفنون والآداب الاجتماعية - القاهرة - ١٩٦٥ .

وفى المناطق الصحراوية الحارة الجافة كثيرا ما تسقط أعمدة التلغراف وتتزحزح الخطوط الحديدية بفعل احتكاك الرياح المحملة بالرمال بكل ما يقف فى طريقها أو يعترض مسالكها .

ويشتد فعل احتكاك الرياح المحملة بالرمال وكشطها أسطح كل العوائق التى تقف أمامها خاصة فى المناطق التى تتميز بالخصائص الآتية :

(أ) الجفاف الشديد .

(ب) ندرة تكوين الغطاءات النباتية .

(جـ) استمرار هبوب الرياح الشديدة والعواصف نحو مراكز الضغط المنخفض العميقة .

(د) تفكك سطح الأرض وعدم تماسك التربة .

(هـ) انتشار طبقات صخرية على السطح تتميز بليونتها وضعف تماسكها وسهولة تعريتها .

وتشكل كل هذه الخصائص السابقة معظم أجزاء صحارى ليبيا والصحراء الغربية فى جمهورية مصر العربية ، ومن ثم تعمل الرياح المحملة تبعا لاصطدامها بالصخور على تكوين ظاهرات جديدة على سطح الأرض وتشكيل ظاهرات أخرى قديمة . ويمكن أن نلخص أثر فعل احتكاك الرياح فى تكوين بعض ظاهرات السطح فى المناطق الصحراوية فيما يلى :

١ - تكوين الأسطح الصخرية المصقولة *Polished Surface* خاصة فى الطبقات الجيرية نتيجة لتوالى احتكاك الرياح المحملة بالرمال على اكتشاف مناطق الضعف الجيولوجى فى الصخر ، ومن ثم تحفر أو تعمق الأجزاء اللينة من أسطح الصخر حتى يتكون فوق أسطح الأخير حزوز أو خنادق طولية يتراوح عمق كل منها نحو بضعة سنتيمترات وتتبع نفس الاتجاه الذى تهب منه الرياح . ويطلق على السطح الصخرى فى هذه الحالة اسم الأسطح الصخرية المحفورة أو المخددة أو المثلمة *Grooved surface* .

٢ - يتشكل الحصى والحصباء فى المناطق الصحراوية الحارة الجافة تبعا لاحتكاكه وبريه بالرياح المحملة بالرمال ولذا يبدو مصقولا وأملس السطح .

ويطلق على عملية تشكيل الحبيبات الصخرية بواسطة الرياح اسم *Ventiface* (١) كما تعمل الرياح كذلك على كشط الأجزاء المحدبة من الحبيبات الصخرية التى تواجه اتجاه هبوب الرياح وبريها . وقد يكشط الحصى من عدة أوجه اذا ما تقلب وتعرض عدة مرات متوالية لفعل احتكاك الرياح به ، وعلى ذلك تبدو الحبيبات الصخرية ، طولية الشكل وكثيرا ما تشبه اللوز البرازيلى *Brazil Nuts* ويطلق على الحصى والحصباء فى هذه الحالة تعبير الحبيبات المكشوطة بالرياح *Wind-worn Pebbles* ، أما اذا ظهرت الحبيبات الصخرية على الشكل الهرمى فيطلق عليها بالألمانية اسم *Dreikanters* .

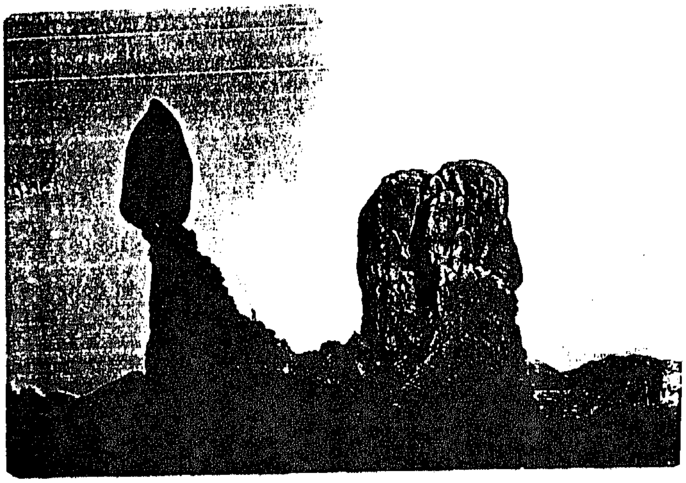
٣ - تبعا لاحتكاك الرياح المحملة بالرمال بأسطح الصخور المختلفة التكوين الجيولوجى أو بمعنى آخر تكل التى تتركب من طبقات صخرية صلبة متعاقبة فوق صخور لينة ، فقد ينتج عدة ظاهرات جيومورفولوجية متنوعة تشكل المظهر العام لسطح الصحراء . فبواسطة فعل احتكاك الرياح بالصخور تتسع جوانب الأودية الصحراوية وفى مراحل متعاقبة قد تتكون كل من الموائد الصخرية *Mesa* والأعمدة الصحراوية أو قصور البنات «الشواهد الصخرية» *Buttee* (لوحة ٦٧ ، لوحة ٦٨) .

وقد ينجم عن فعل احتكاك الرياح ، تكوين جبال انفرادية مخروطية الشكل أو هرمية مدرجة ، يشتد انحدار أسطح صخورها الصلبة بينما يقل الانحدار نسبيا فى أسطح الصخور اللينة ، ومن بين أمثلة هذه الجبال ، ما يطلق عليها فى جمهورية مصر العربية «جبال ويدان الفرس» ذلك لأنها تبدو على شكل أذن الخيول . ومن أجمل أمثلة هذه الجبال هى تلك المعروفة باسم الأخوات الثلاثة *The Three sisters* فى إقليم فيكتوريا بمقاطعة الكاب بجنوب أفريقيا .

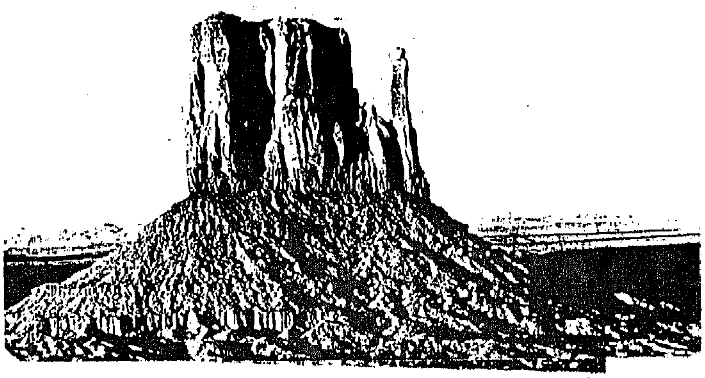
٤ - وفى المناطق التى تتألف من طبقات صخرية أفقية صلبة متعاقبة فوق أخرى لينة ، قد ينتج عن احتكاك الرياح فى الصخور السفلى اللينة تكوين تجويفات جانبية عميقة فى الصخور . وتبعا لاستمرار تآكل الصخور اللينة

---

(١) المعنى الحرفى لتعبير Ventifact هو «عُمِلَ بواسطة الرياح» made by wind .



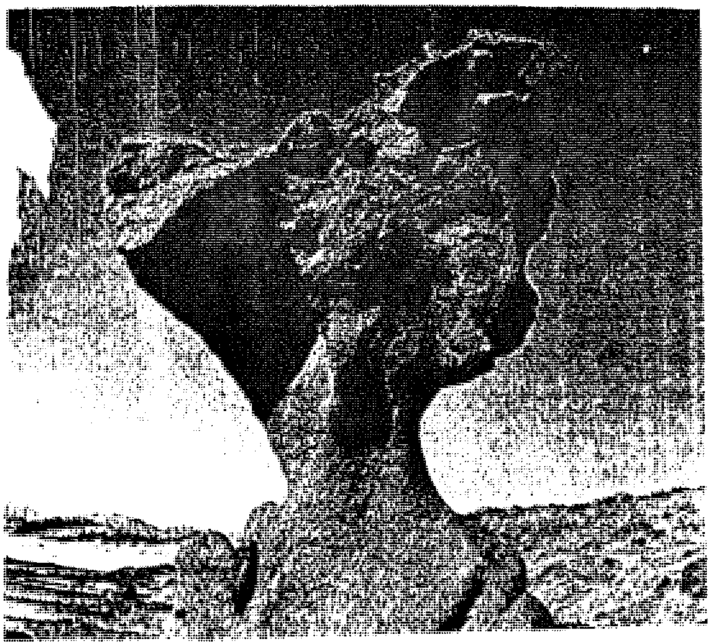
(لوحة ٦٧) الأعمدة الصحراوية وتباين تآكل صخورها بفعل كشط الرياح المحملة بالرمال



(لوحة ٦٨) الشواهد الصخرية والموائد الصخرية الصحراوية فى صحراء غرب الولايات المتحدة الأمريكية

تتبقى أجزاء من الصخور الصلبة العلوية على شكل رأس المطرقة . وتعرف هذه الظاهرة باسم «زوجين *Zeugen*» ويتراوح ارتفاع الغطاءات الصلبة فوق منسوب سطح الأرض المجاور من ٥ إلى ١٥٠ قدما .

أما اذا تميزت هذه الظاهرة السابقة بتنوع أشكال الغطاءات الصلبة تبعا لشدة فعل احتكاك الرياح فيها من جهة وتآكل الصخور اللينة السفلى بسرعة من جهة أخرى ، قد تتكون الظاهرة المعروفة باسم الخرافيش أو «الياردانج *"Yardangs"*» (١) التى تشبه ضلوع الحيوان ويتراوح ارتفاعها (لوحة ٦٩) من



(لوحة ٦٩) ظاهرة الياردانج فى الصحارى الحارة الجافة

(١) أول من استخدم تعبير الياردانج هو الأستاذ بلاك فيلدر فى مقاله فى سنة ١٩٣٤ .
Blackwelder, E., "Yardangs" Geol. Soc. Amer. Bull., 45 (1934) 159 - 166.
وقد شاع استخدام هذا التعبير السابق فى الدراسات الجيومورفولوجية منذ ذلك الحين . وقد عرف هذا التعبير باسم «الخرافيش» فى المصطلحات الجيومورفولوجية التى قام بها المجلس الأعلى لرعاية الفنون والآداب والعلوم الاجتماعية - القاهرة - ١٩٦٥ .

٣٠ إلى ١٢٠ قدما فوق سطح الأرض المجاور ، وتنفصل عن بعضها البعض بواسطة خوانق مفرغة عميقة تحفر فى الصخور اللينة ، وقد تتعرض هذه الخوانق الأخيرة للامتلاء التدريجى بفعل تراكم المفتتات الصخرية التى تتساقط من الجوانب الصخرية المجاورة ، وتنتشر مثل هذه الظاهرة فى صحارى أواسط آسيا والتركستان ، كما قد تظهر كذلك فوق معظم سفوح المناطق الصحراوية الجبلية فى منطقة أمتامفونا *Umtamvuna* فى جنوب ناتال بجنوب أفريقيا [1] (شكل ١٢٤)



(شكل ١٢٤) أشكال الزوجين والياردانج (الخرافيش) وقصور البنات (الشواهد الصخرية)

٥ - تبعا لاختلاف التركيب الصخرى فى الطبقات التى تتعرض لفعل احتكاك الرياح المحملة بالرمال ، فلا يتساوى مدى فعل الرياح على طول كل جزء من أسطح الصخور ، بل تتجوف وتتعمق الأجزاء الرخوة اللينة من الصخور وتبدو على شكل حفر أو ثقوب جوفية فى الصخور بينما تبقى أجزاء الصخر على شكل فواصل وأعمدة تفصل بين هذه التجويفات . وتعرف هذه الظاهرة باسم ثقوب أو كهوف الرياح *Wind Caves* ومن بين أجمل أمثلتها فى جمهورية مصر العربية هى ثقوب الرياح التى تتكون فى الصخور الرملية عند رأس الدب بالصحراء الشرقية قرب خليج السويس .

وهناك كذلك بعض الظاهرات الجيومورفولوجية الثانوية التى قد تنجم عن أثر فعل احتكاك الرياح المحملة بالرمال فى الصخور غير المتجانسة أو غير

---

(1) Wooldridge S. W., and Morgan. R. S., "An outline of geomorphology ..", London (1960), p. 274.

المتشابهة جيولوجيا ، ومنها تكوين أرض الخرافيش التى تميز أسطح التكوينات الصخرية فى الصحراء الغربية من جمهورية مصر العربية ، حيث تعمل الرياح على نحت الصخور اللينة الرخوة بسرعة عنها فى الأجزاء الصلبة من الصخر ، ومن ثم يبدو سطح الصخر مخططا بواسطة حزوز طولية أو قد يظهر على شكل متماوج يطلق عليه البدو اسم «أرض الخرافيش» وكذلك تكوين ظاهرة «البطيخ الصخرى المصقول» . فبعد أن تعمل الرياح على نحت الأطراف الحدية اللينة من الكتل الصخرية المكعبة الشكل يتبقى قلب أو باطن الصخور الصلبة على شكل كرات صلبة تشبه البطيخ وتتكون غالبا من الفلينت ، وقد درس هذه الظاهرة الأستاذ جون بول عند دراسته لمنخفض الفيوم ١٩٢٥ .

٦ - من بين أهم نتائج فعل احتكاك الرياح فى الصحارى المصرية كذلك تكوين المنخفضات الصحراوية *Depression* والتى يطلق عليها اسم «الواحات» ومنها منخفض الخارجة والداخلة والفرافرة والبحرية وسيوة والقطارة فى الصحراء الغربية لجمهورية مصر العربية . ومن أظهر مؤيدى نشأة هذه المنخفضات الصحراوية بفعل احتكاك الرياح فى الصخور اللينة الأستاذ بيدنل *Beadnell* وذلك عند دراسته للواحة الداخلة عام ١٩٠١ والفرافرة ١٩٠١ والخارجة ١٩٠٩ (١) .

ومن دراسة التوزيع الجغرافى للظاهرات الجيومورفولوجية الكبرى فى الصحارى المصرية يتضح أن ظاهرة الوديان الجافة تكاد تقتصر على كل من الصحراء الشرقية وصحراء سيناء ، بينما ظاهرة المنخفضات تكاد تقتصر بدورها على الصحراء الغربية ، هذا على الرغم من تشابه التكوين الجيولوجى لكل من هذه المناطق المختلفة . من ثم يعتقد الكاتب أن لعامل طبيعة الانحدار الأصلى *Initial slope* لأرض مصر خاصة قبل سقوط الأمطار البلايوستوسينية كان له أكبر الأثر فى تشكيل هذه الظاهرات الجيومورفولوجية واختلاف توزيعها الجغرافى . فقد ساهم الانحدار الشديد فى كل من الصحراء

---

(١) حسن أبو العينين «الملامح الجغرافية للصحراء الغربية فى جمهورية مصر العربية» مجلة كلية الآداب - جامعة الاسكندرية - مجلد ٢٥ لعام ١٩٧١ - ص ١٨٣ - ٢٤٠ .

الشرقية وصحراء سيناء خلال عصر البلايوستوسين (وحدوث فترات المطر الغزيرة) على تكوين أودية نهرية عميقة ، سريعة الجريان بينما تجمعت مياه الأمطار فوق أرض الصحراء الغربية المستوية السطح فى التجويفات المقعرة *Concavities* التى قد تمثل مناطق ضعف جيولوجية ، وربما كانت فى بداية الأمر على شكل بحيرات مستنقعية ضحلة واسعة . وخلال الفترات البلايوستوسينية الجافة تعرضت مياه هذه البحيرات إلى كل من التسرب والتبخر ، وعلى ذلك فتحت المجال كذلك لفعل الرياح كعامل نقل ونحت واحتكاك بالصخور اللينة فى هذه المنخفضات ، وبتوالى هذه العمليات اتسعت رقعة المنخفضات بالتدريج . ما زالت أرض مصر كلها فى حاجة ماسة إلى البحث الجيومورفولوجي الحقلى الجاد حتى يمكن أن نتبين الأدلة العلمية التى قد تكشف لنا أسرار تطور ظاهرات سطح الأرض التى نعيش عليها .

ثانيا : الظاهرات الجيومورفولوجية الناتجة تبعا لأثر فعل الرياح كعامل ارساب أو بناء :

تشابه الرياح المياه الجارية فى أنها قد تفقد سرعتها بالتدريج أو فجائيا ، وينجم عن ذلك عرقلة أو ايقاف تأثيرها كعامل نقل ونحت ثم فتح المجال لارساب حمولتها من المفتتات الصخرية المختلفة على شكل ظاهرات جيومورفولوجية متنوعة ، وقد تكون بعض هذه الظاهرات غير ثابتة بحيث أنها تتلاشى بمجرد هبوب رياح شديدة مرة ثانية ، بينما قد يمثل بعضها الآخر ظاهرات ثابتة تبعا لكبر حجمها من جهة وتثبيت جذورها فى الأرض بواسطة انضغاطات أو تماسك أجزائها بفعل المياه أو الحشائش التى قد تنبت فيها من جهة أخرى . وأهم الظواهرالرئيسة الناجمة عن فعل ارساب حمولة الرياح هى تلك المعروفة باسم الكثبان الرملية *Sand Dunes* بأشكالها المختلفة .

ويطلق لفظ «كثيب» على التلال الرملية التى يختلف ارتفاعها عن بضعة أقدام إلى عشرات الأمتار وتتكون أساسا من رمال مستديرة الحبيبات . وقد

يكون العامل المساعد فى بداية تكوين الكثيب تعرض الرياح لحاجز أو مانع فى طريق اتجاهها وذلك مثل تل أو شجرة أو بناء ما ، تعمل على عرقلة حركة الرياح ، وارغامها على ارساب حمولتها من الرمال ، أو إلى إضعاف سرعة الرياح وعدم قدرتها على نقل ما تحمله من رواسب (لوحة ٧٠) أما اذا تميزت الرياح بشدة سرعتها من ناحية وقدرتها على نقل كميات هائلة من الرمال ثم تتوقف حركتها فجأة ، فقد تتكون كثبان رملية كبيرة الحجم يتراوح ارتفاعها من ٢٠٠ إلى ٥٠٠ قدم كما هو الحال فى بعض أجزاء من الصحراء الكبرى فى أفريقيا وصحراء كلورادو فى أمريكا الشمالية . غير أن معظم هذه الكثبان حتى الكبرى منها تتزحزح بفعل حركة الرياح . وهناك حقيقة أخرى تجدر الإشارة إليها وهى أنه لا يجب أن نتخيل أن سطح الصحراء مكون من سهول رملية أو كثبان رملية فقط ، بل هو يتشكل بظاهرات جيومورفولوجية أخرى مختلفة مثل الأرصفة الصحراوية والصحارى الحصوية والصخرية .

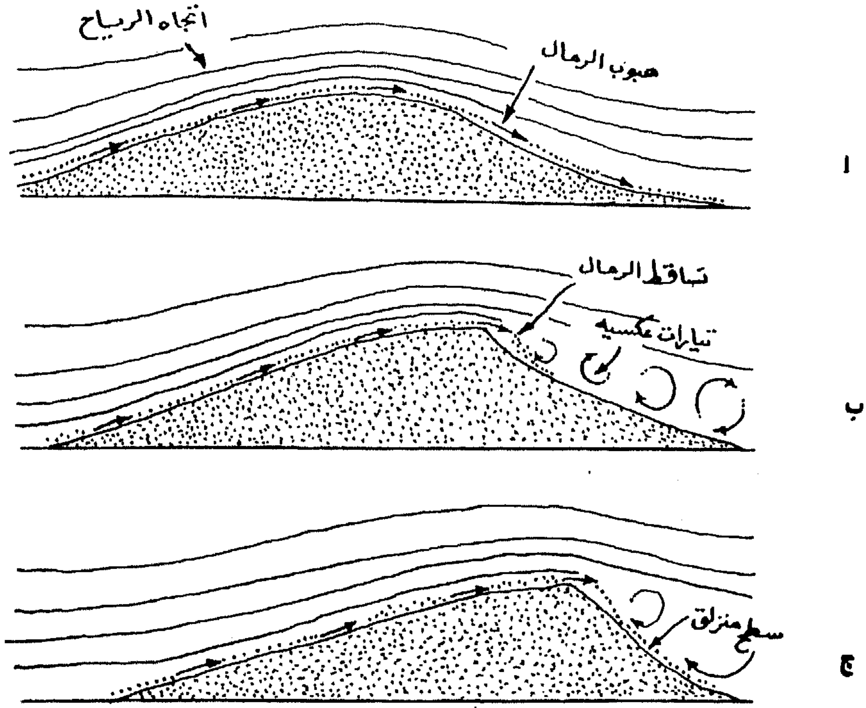


(لوحة ٧٠) كثبان رملية هلالية الشكل حديثة النشأة ترسبت فوق أرضية السهل الحصوى فى منطقة المدام - دولة الامارات العربية المتحدة - تصوير الباحث -

وقد تبين من دراسة المرئيات الفضائية والصور الجوية أن نسبة الغطاءات الرملية فى صحراء شبه الجزيرة العربية لا تزيد عن ثلث مساحتها الكلية بينما تبلغ مساحة الغطاءات الرملية والكثبان فى الصحراء الكبرى نحو ١٠٪ من مساحتها الكلية .

كيفية تكوين الكثبان الرملية واختلاف أشكالها

عندما تضعف قوة الرياح ، تتساقط حمولتها من الرمال ، وهذه بدورها قد تتجمع فوق بعضها البعض ويتشكل مظهر تجمعها العام بواسطة حركة الرياح واتجاهاتها المختلفة ، وتتراكم عادة حبيبات الرمال على الجانب المواجه لاتجاه الرياح *Windward-slope* ، ثم قد يتبقى بعضها فى أعالى الكثيب *Crest* ، ويتدحرج البعض الآخر على الجانب الآخر المظاهر للرياح *Lee-slope* وتتشكل عملية تدحرج ذرات الرمال وتزحلقها *Creeping and Rolling* بفعل قوة الجاذبية الأرضية . وبالتالى تعمل الرياح على تسوية الجانب المواجه لهبوبها أما الجانب الآخر الكثيب الذى تنحدر حبيبات الرمال إلى ما تحت أقدامه بفعل الجاذبية الأرضية فيتراوح انحداره من ٢٠° إلى ٣٠° وعلى ذلك فإن أول مراحل تكوين الكثيب تجمع الرواسب على الجانب المواجه للرياح أكثر منه فوق الجانب المظاهر لها . وبالتالى يزداد ارتفاع الكثيب تدريجيا (شكل ١٢٥ أ) . وفى المرحلة الثانية تنحدر الرمال من أعالى الكثيب بفعل الجاذبية الأرضية تحت أقدام الجانب المظاهر لاتجاه الرياح ، وقد تسقط كذلك كميات كبيرة من الرمال من أعالى الكثيب وتكون انحدارا شديدا إذا ما قورن بدرجة انحدار السطح المواجه لاتجاه الرياح (شكل ١٢٥ ب) وفى المرحلة الثالثة حيث يظهر الاختلاف واضحا بين كل من الانحدار البسيط المواجه للرياح والانحدار الشديد المظاهر لها تتجمع الرمال على الجانب الأول وكذلك فوق أعاليه ، وتنحدر تدريجيا بفعل الجاذبية على الجانب الآخر الذى يتميز بتأثره بفعل الدوامات الهوائية التى تسهم بدورها على ارتكاز بعض حبيبات الرمال فوق قمة الكثيب وتحول دون هبوطها تحت أقدام الانحدار



(شكل ١٢٥) تطور تكوين الكثبان الرملية

المظاهر لاتجاه الرياح ، هذا فضلا عن أن الرياح تساعد على تكوين فجوة عميقة فى ظهر الانحدار وبذا يبدو الأخير على شكل مقعر ويكتسب لنفسه ذراعين طويلين يمتدان مع نفس اتجاه الرياح الدائمة (شكل ١٢٥ ج) .

واذا كان الكثيب منفردا أو منعزلا ، تعمل الرياح على زحزحة جانبى الكثيب بدرجة أسرع منها بالنسبة للقسم الأوسط منه ، ومن ثم يتخذ الكثيب شكلا هلاليا ويعرف باسم الكثيب الهلالى أو البرخان *Cresentic Dune or Barchan* ، وتتكون مثل هذه الكثبان الأخيرة فى المناطق التى تتميز بهبوب الرياح فى اتجاهات محددة ثابتة . وكثيرا ما تتميز أسطح هذه الكثبان بتموجات ظاهرية تشبه علامات اليم وتعاريج الأمواج على خط الساحل يبلغ عمقها نحو ثلاث بوصات تدل على أثر ركة الرياح فوق أسطح الكثيب ويطلق عليها علامات حركة الرياح *Ripple Marks* أما اذا اختلف اتجاه الرياح من فصل إلى آخر ، فلا يساعد ذلك على تكوين الكثبان الهلالية ، بل كثيرا ما

تبدو التراكمات الرملية متقاطعة مع اتجاه الرياح فى زوايا مختلفة كما قد تظهر كذلك على شكل سيوف طولية رملية *"Sief"* . وتختلف أشكال هذه السيوف الأخيرة تبعا لعدة عوامل مها :

١ – اختلاف المواد التى تتألف منها .

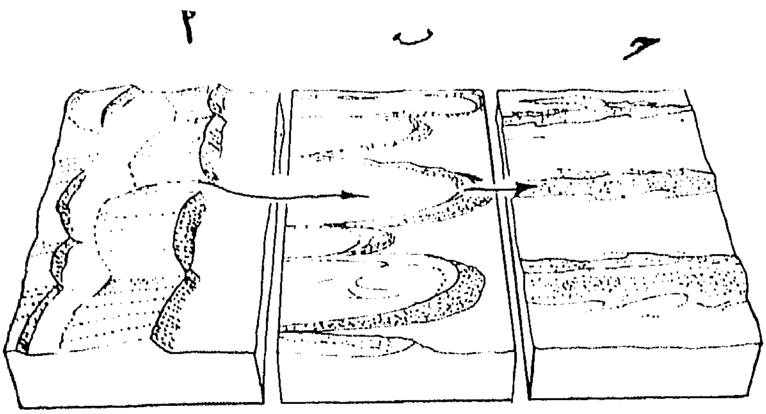
٢ – اتجاه الرياح .

٣ – طول الزمن الذى تكونت خلاله هذه السيوف .

٤ – طبيعة شكل سطح الأرض الأصلى الذى تراكمت فوقه الرمال .

ويبلغ ارتفاع بعض السيوف الرملية فى صحراء ايران نحو ٢٥٠ مترا فوق مستوى سطح الأرض المجاور ، وتمتد لمسافات قصيرة تتراوح من ١ – ٣ كم بينما تمتد السيوف الرملية فى الصحراء الغربية لمصر نحو عدة مئات من الكيلو مترات . ومن السيوف الرملية الهامة فى مصر ، غرد أبو المحاريق الذى يبلغ طوله نحو ٣٥٠ كم وبحر الرمال العظيم الذى يبلغ طوله نحو ٥٠٠ كم ومتوسط عرضه ١٥٠ كم ويمتد جنوب منخفض سيوه إلى هضبة الجلف الكبير فى الجنوب . ويرجح الأستاذ جون بول تبعا لدراسته لتقدم هذه الكثبان أن غرد أبو المحاريق استغرق تكوينه نحو ٣٥ ألف سنة ذلك لأن رماله تتقدم فيه بمعدل ١٠ م فى العام .

ويعتبر شكل الكثبان الرملية فى تغير دائم تبعا للعوامل المختلفة التى تؤثر فى تطور نموها . وعلى سبيل المثال قد تتكون الكثبان الرملية العرضية *Transverse Dune* فى اتجاه عمودى على اتجاه الرياح التى أدت إلى تراكمها . وبالتالى تظهر هذه الارسابات الرملية على شكل حواجز رملية عرضية (شكل ١٢٦ أ) الا أنه فى فترة أخرى ، قد تنقل كميات كبيرة من الرمال المتجمعة فوق جوانب الكثبان العرضية وينجم عنها تكوين كثبان شبه هلالية متنقلة *"Parabolic Dune"* (شكل ١٢٦ ب) وفى مرحلة ثالثة متعاقبة قد تعمل الرياح على نقل كميات كبيرة من حبيبات الرمال المتراكمة فوق أعالى هذه الكثبان الهلالية وتدفعها أمامها ، ومن ثم قد تتكون كثبان طولية أو سيفية من جديد (شكل ١٢٦ ج) .

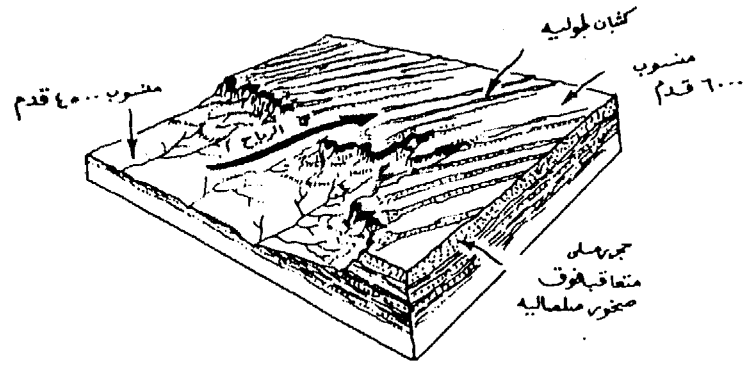


(شكل ١٢٦) استمرار تغير أشكال الكثبان الرملية

وقد تتكون الكثبان الرملية الطولية كذلك إذا هبت الرياح على حواف صخرية رملية ضعيفة التماسك فتعمل على نحت الأجزاء اللينة من الصخر وحمل المفتتات الرملية من أعالى الحافات الجبلية ونقلها ثم ارسابها على شكل سيوف رملية شبه متوازية فوق أعالى الحافات الصخرية كما يتضح فى (شكل ١٢٧) .

أشكال الكثبان الرملية :

تختلف أشكال الكثبان الرملية من حيث تباين انحداراتها وأبعادها ومظهر أسطحها ونمطها العام وتباين أحجامها . واذا كانت الدراسة الحقلية تبرز



(شكل ١٢٧) تكوين السيوف الرملية شبه المتوازية فوق أعالى الحافات الصخرية

للدارس الخصائص الدقيقة لأشكال الكثبان الرملية بصورة مباشرة ، فإن تحديد حقول الكثبان الرملية وأبعادها وأعداد هذه الكثبان واتجاهاتها يمكن دراسته بشئ من الدقة عن طريق استخدام الصور الجوية والمرئيات الفضائية (الاستشعار من بعد) .

ومن أظهر أشكال الكثبان الرملية شيوعا هو الكثيب الهلالى الرملى *Brachan* أو البرخان أو الغرد . ويتميز هذا الكثيب كما سبقت الاشارة من قبل بشكله الهلالى وانحداره البسيط المواجه لاتجاه الرياح والذى يعرف باسم (الكساح) والآخر الشديد المظاهر لاتجاه الرياح والذى يطلق عليه اسم (الصباب) وله ذراعان جانبيان أقل ارتفاعاً من قمة الكثيب ويشيران إلى اتجاه منصرف الرياح السائدة (نبيل امبابى ومحمود عاشور ١٩٨٣ ص ٧٢) وتختلف الكثبان الهلالية من حيث الحجم فبعضها صغير الحجم وبعضها الآخر متوسط أو كبير الحجم غير أن هناك علاقات نسبية بين مختلف أبعاد أجزاء الكثيب تكاد تكون النسبة فيها ثابتة مهما تغير أحجامها . وقد تعمل الرياح على تغير شكل الكثيب باستمرار فقد يتحول شكله الهلالى إلى أشكال مختلفة أخرى منها الكثبان البيضاوية والصغيرة الجنينية والهلالية المركبة والمعقدة . ومن الأنواع الأخرى من الكثبان ما يعرف باسم الكثبان الطولية الشكل حيث أن طول الكثيب يفوق عرضه بكثير . ويسمى الكثيب فى هذه الحالة بمسميات مختلفة منها «العرق» فى شبه الجزيرة العربية وصحارى مصر أو «السيف» فى صحارى ليبيا أو الذراع أو الخيوط ، وفى الصحارى الاسترالية تعرف باسم «الحواجز الرملية» .

كما قد تكون الكثبان عرضية الشكل وتبدو على شكل موجات رملية متلاحقة تعترض حركة الرياح السائدة (المرجع السابق ص ٩٢) . أو كثبان ميتة تماسكت حبيباتها ولم تعد تتأثر بفعل الرياح .

وقد درس الباحث أشكال الكثبان الرملية فى منطقة رشيد وضواحيها بجمهورية مصر العربية (أبو العينين ١٩٧٣) وقد تبين أن بعض الكثبان

الرملية مدفونة أسفل الكثبان الأحدث عمراً ومن ثم هناك مجموعة أخرى من الكثبان هى الكثبان المتراكبة *Over lapping dunes* تدل على تكوينها خلال فترات زمنية متلاحقة . وفى الصحراء الغربية المصرية (أبو العينين ١٩٧١) أشار الباحث إلى كيفية نشوء السيوف الرملية وبحار الرمال الهائلة الحجم والكثبان النجمية العملاقة *Giant Sand stars* وهذه الأخيرة تتمثل بوضوح بمنطقة الساد فى إقليم غرب مدينة العين بدولة الامارات العربية المتحدة .

تحرك الكثبان الرملية :

طالما أن المواد التى يتألف منها جسم الكثيب لم تتعرض للانضغاط من ناحية أو للتماسك بأى مادة لاحمة بمساعدة المياه أو جذور النباتات من ناحية أخرى فإن الكثيب يكون عادة فى حالة عدم استقرار . وبالتالى تعمل الرياح على نقل المفتتات الرملية من الانحدارات المواجهة لاتجاهها وارسابها على القمم العليا للكثبان الرملية . وقد تتعرض الرمال فى هذا الموقع الأخير إلى الزحف التدريجى نحو أقدام الانحدار المظاهر لاتجاه الرياح بفعل الجاذبية الأرضية . أو بمعنى آخر يتعرض الجانب المواجه للرياح لفعل التآكل التدريجى وتنقل مواده ويترسب معظمها فوق الجانب الظاهر لاتجاه الرياح ، وعلى ذلك تتحرك الكثبان حركة تدريجية مع اتجاه الرياح نفسها . هذا وينجم عن تحرك الكثبان أخطار كبرى على النشاط البشرى إذ قد تؤدى إلى هدم القرى وأجزاء كبيرة سكنية من الواحات ، ومن ثم يبذل سكان الصحارى الجافة مجهودات كبيرة لتثبيت الكثبان المتحركة وذلك بتثبيت النخيل فيها أو أى نباتات تعمل على تماسك أجزاء الكثيب .

وإلى جانب الأنماط المختلفة للكثبان الرملية ، قد تترسب الرمال على شكل غطاءات واسعة طولية الامتداد بحيث تكون أسطحا مستوية ملساء ، تعرف عامة باسم الصحارى الرملية ويطلق عليها فى الصحراء الكبرى تعبير العروق ومفردها «العرق» . ولكن قد يدخل فى تكوين هذه المسطحات الرملية بعض

التجمعات الرملية التى تتخذ أشكال شبه الكثبان الهلالية كذلك . وكل هذه الأشكال يتوقف نموها تبعا لما يلى :

(أ) سرعة الرياح ونظام هبوبها .
(ب) تركيب المواد الارسابية واختلاف حجم حبيبات الرمال .
(جـ) السطح الأصلى قبل تجمع الرواسب الرلمية فوقه .
(د) مدى انتشار النباتات وأثرها فى تشكيل الكثبان الرملية .

وقد بذلت بلدية مدينة العين (التى تقع فى الاقليم المناخى الحار الجاف) فى دولة الامارات العربية المتحدة مجهودات طيبة فى غرس مئات الآلاف من الأشجار واستزراعها ، واحاطة المدينة و تنسيق طرقها وشوارعها بالنباتات والأشجار الخضراء التى عملت على حماية المدينة من أخطار العواصف الرملية وأضرارها وبفضل حماية بيئة المدينة والحد من التصحر فى المناطق التى تحيط بها صارت مدينة العين جنة خضراء حتى باتت تسمى المدينة الحديقة .

الفصل الحادى والعشرون

التصنيف الجيومورفولوجي لسطح المناطق الحارة الجافة

مما سبق يتضح أن سطح الصحراء الحارة الجافة في العروض المدارية لا يتشكل بواسطة الكثبان والغطاءات الرملية فقط ، بل يتنوع مظهره الجيومورفولوجى العام من إقليم إلى آخر تبعا لاختلاف التكوين الصخرى ، والتطور الجيومورفولوجى ، وعوامل التعرية السائدة فى الإقليم ومدى فعلها فى الصخر ، ثم طول الفترة الزمنية التى تعرضت لها هذه الظاهرات للتشكيل بفعل التعرية . وقد صنف الأستاذ توماس كلمنتس *Thomas Clements* (١) فى عام ١٩٦٣ سطح الصحارى الحارة الجافة جيومورفولوجيا ، واقترح عدة أقاليم أو وحدات جيومورفولوجية كبرى *Morphological Units* تبعا لاختلاف ظاهرات السطح التى تتكون فيها وتنوع أنماط السطح فى كل من هذه الأقاليم . وقد اعتمد فى دراسته على البحث الحقلى خاصة فى كل من صحارى أريزونا وكلورادو ونيفادا من جهة ، وعلى النتائج المستمدة من تفسير الصور الجوية لصحارى آسيا وأفريقيا وأستراليا من جهة أخرى . ويمكن أن نلخص أهم الوحدات أو الأقاليم الجيومورفولوجية الرئيسة فى مناطق الصحارى الحارة الجافة فيما يلى :

---

(1) Clements, T., "A study of desert surface conditions" Headquarters - Quartermaster Research and Development Command, Quartermaster Research and Development Center, U. S. Army, Natick Massachusetts. T. P. Ep. 53 (1957), reprinted (1963).

أولا : الأقاليم التى تغطيها الرواسب والمفتتات الصخرية المختلفة :

يتشكل سطح الصحارى الحارة الجافة عادة بغطاءت إرسابية مختلفة قد يكون مصدرها الصخور السفلية التى تنتشر فوقها هذه الغطاءات أو بمعنى آخر أنها تكونت فى نفس الموضع الذى تحللت أو تفتتت منه *In Situ* ، أو أنها قد تكون منقولة *Transported* من موقع آخر تختلف صخوره عن صخور تلك المنطقة التى تجمعت فوقها الرواسب ، ويميزالباحثون أقاليم ثانوية مغطاة بأنواع متباينة من الرواسب تتلخص فيما يلى :

(أ) المناطق التى تشغلها الرواسب الملحية Salt :

تنتشر هذه الرواسب فوق أرضية السبخات البحيرية الملحية *Playa* بعد تعرض مياه الأخيرة للتبخر ، ومن ثم تترسب طبقات الملح على السطح .

(ب) المناطق التى تشغلها الرواسب الجيرية *Lime* :

وتشمل الأسطح والمنحدرات التى تغطيها رواسب كربونات كالسيوم بعد تبخر المحاليل والمياه التى كانت تحتويها السبخات البحيرية الجيرية . وهى محدودة الانتشار إذا ما قورنت بالرواسب الملحية إلا أن هناك أمثلة متنوعة للرواسب الجيرية فى وادى ديث *Death Valley* فى الجزء الشمالى الغربى من سهول مسكويت *Mesquite Flat* فى الولايات المتحدة الأمريكية .

(جـ) المناطق التى تشغلها الرواسب الصلصالية *Clay* :

وهذه تتكون عند تعرض السبخات البحيرية الجافة فى بعض الأحيان لفعل الامتلاء التدريجى تبعا لتراكم الرواسب التى تلقيها الأودية فيها أثناء حدوث السيول . وأول ما يترسب فوق قاع السبخات البحيرية هى الرواسب الخشنة من الرمال ثم يتبعها ارساب المواد الدقيقة الحجم العالقة بالمياه خاصة تلك التى تتألف من حبيبات الطين والصلصال الناعمة . وتعمل هذه الرواسب على تغطية قاع البحيرة . وبعد جفاف الأخيرة مرة ثانية تظهر مناطق واسعة من سطح الأرض مغطاة بطبقة صلصالية رقيقة السمك ، إلا أنها (تبعا لضيق

مساميتها وجفافها) غالبا ما تكون متماسكة وشديدة الصلابة .

المناطق التى تشغلها الرواسب الغرينية أو الطميية *Silt* :

وهذه تتكون غالبا فوق أسطح الرواسب البحيرية البلايوستوسينية القديمة » (ليست السبخات البحيرية الحديثة ـ البلايا) ، وهى تشكل السطح بطبقة غطائية من الرواسب الطميية والتى قد يختلط بها بعض الرمال والحصى والحصباء وتتكون كيميائيا من سليكات الألومنيوم وأكاسيد الحديد .

(هـ) المناطق التى تشغلها الرواسب الرملية *Sand* :

وهذه تمثل نسبة كبيرة من سطح الصحراء عامة ، إذ يرتبط تكوين الرواسب الرملية عادة بتكوين كل من السهول الصحراوية المستوية *Desert Flats* والأحواض الجافة *Dry Washes* والكثبان الرملية *Dunes* . وتتميز حبيبات الرمال فى كل من السهول الصحراوية المستوية والأحواض الجافة بأنها خشنة وكبيرة الحجم نسبيا ، بينما تلك فى الكثبان الرملية أقل خشونة وغالبا ما تكون دقيقة الحبيبات ومستديرة الشكل .

(و) المناطق التى تشغلها الرواسب الحصوية *Gravel* :

يتكون الحصى من حبيبات صخرية يتراوح نصف قطرها من ٤ – ٦ ملم . وتشغل الرواسب الحصوية مساحات واسعة من سطح الصحراء كذلك غير أنها غالبا ما تكون مختلطة بالرمال ومن ثم تكون الغطاءات الرملية الحصوية *Sand and Gravel Surfaces* ولكن قد تتشكل بعض أجزاء أسطح الصحراء القريبة من مواقع البراكين القديمة برواسب حصوية فقط مركبة من المفتتات الصخرية البركانية ، وفى هذه الحالة يطلق عليها تعبير *Cinder surface* . وقد تنشأ الرواسب الحصوية كذلك فى بعض أجزاء الصحراء تبعا لفعل الرياح كعامل نقل ، حيث تعمل الرياح على حمل الرواسب الدقيقة الحجم مثل حبيبات الرمال الناعمة ونقلها إلى أماكن أخرى وتترك المفتتات الصخرية الحصوية على شكل أسطح صخرية مفتتة يطلق عليها تعبير «الرصيف

الصحراوى، *Desert Pavement* .

أما اذا كانت الرياح من الشدة بحيث أمكن لها حمل كل من الحبيبات الرملية الناعمة وكذلك المفتتات الصخرية الحصوية ، فقد يبدو السطح صخريا أو مغطى بالكتل الصخرية الكبيرة الحجم . ويطلق على مظهر السطح فى هذه الحالة تعبير السطح الصخرى *Bare Rock-Surface* (لوحة ٧١) . وتنتشر مثل هذه الأسطح الأخيرة فوق مناطق البديمنت *Padiments* والحمادة *Hammada* والمناطق البركانية وكذلك فى المناطق الجبلية منها (أبو العينين ١٩٩٥) .

ثانيا : أقاليم السبخات البحيرية . البلايا *Playas* :

ترمز كلمة «بلايا *Playa*» فى اللغة الأسبانية إلى السواحل المستنقعية ، غير أنها استخدمت فى أمريكا لتدل على المناطق الحوضية المستوية السطح فى الصحارى الحارة الجافة . وإذا تعرضت البحيرات فى هذه الأحواض لفعل التبخر وأصبحت جافة فتعرف باسم أرض البحيرات الجافة *Dry Lakes* ، أما اذا كانت تحتوى على بعض المياه فيها فتعرف باسم بحيرات البلايا *Playa Lakes* أو السبخات البحيرية .



(أ) الأسطح الصخرية   (ب) الأسطح الحصوية   (جـ) الأسطح الرملية

(لوحة ٧١) أسطح الصحارى

وتتكون هذه البحيرات الحوضية الصحراوية فى صحارى مصر خاصة فى منخفض سيوه ومن بينها بحيرات خميسة ، والزيتون والمعاصر وأغورمى . كما تتمثل بعض هذه البحيرات فى الجزء الشمالى الشرقى لمنخفض القطارة ، وكذلك سبخات أو بحيرات منخفض وادى النطرون وأهمها من الشمال الغربى إلى الجنوب الشرقى بحيرات البيضة والزجم وحمراء وروزينا وام ريشة والفاسدة .

ويعتقد الباحثون أن مصدر مياه هذه السبخات الملحية فى صحارى جمهورية مصر العربية يرجع إلى الانحدارات الهيدروليكية للمياه الجوفية التى تنساب فى طبقات الحجر الرملى النوبى وتظهر فى المنخفضات الصحراوية التى تشغل بعض أجزائها هذه البحيرات إلى جانب المياه الجوفية المتسربة أسفل الدلتا . وعلى ذلك يتذبذب منسوب مياه السبخات من فصل إلى آخر تبعا للعلاقة بين كمية المياه التى تنحدر صوب منخفضات هذه البحيرات من جهة ، ومقدار المياه المفقودة بواسطة التسرب والتبخر من جهة أخرى . وتبعا لاختلاف كمية المياه فى السبخات الملحية وتركيبها الكيميائى ، واختلاف المواد التى تشكل أرضية السبخات البحيرية ، يمكن تقسيم الأخيرة إلى المجموعات الآتية :

(أ) السبخات البحيرية الجافة *Dry Lakes* : وهى تلك التى تعرضت لفعل التبخر وتغطى أرضيتها بواسطة فرشات ارسابية طينية غرينية صلبة .

(ب) السبخات البحيرية الرطبة *Moist Playas* : وتتميز هذه المجموعة أن قاع أو أرضية البحيرة بعد قريبا نسبيا من مستوى المياه الباطنية ، وتسهم الأخيرة فى ارتفاع نسبة الرطوبة فى أرضية السبخات .

(جـ) السبخات البحيرية الملحية البللورية *Crystal Body Playas* : وتطلق هذه المجموعة على السبخات البحيرية التى تعرضت مياهها للتبخر وتجمعت بلورات الملح على السطح بحيث تغطى معظم الأراضى البحيرية .

(د) السبخات البحيرية المركبة *Compound Playas* : ويقصد بها تلك

السبخات التى تتميز بتذبذب مستوى المياه الجوفية بالقرب من أرضية البحيرة . ففى الفصل الذى يرتفع فيه منسوب المياه الجوفية قد تتميز البحيرة بكونها رطبة أو تحتوى على بعض المياه بينما تجف البحيرة فى الفصل الذى ينخفض فيه هذا المنسوب . وعلى ذلك فهى تجمع صفات كل من السبخات البحيرية الرطبة وتلك الأخرى الجافة .

(هـ) السبخات البحيرية الجيرية *Lime playa* : وهى نادرة الحدوث ، وتتكون عادة بعد تبخر مياه البحيرة وارساب كربونات الكالسيوم فوق أرضية البحيرة مكونة بالتالى غطاءات جيرية صلبة ، ومن بين أمثلتها السبخات البحيرية فى «وادى ديث» فى غرب الولايات المتحدة الأمريكية .

ثالثا : أقاليم السهول الصحراوية المستوية *Desert Flats* :

يدل تعبير «السهول الصحراوية المستوية» بمعناه الخاص على تلك الأراضى المستوية السطح والتى تمتد فيما بين شواطئ السبخات الملحية من جهة والمرواح الفيضية أو البجادا *Bajadas* تحت أقدام المرتفعات من جهة أخرى . وقد يطلق عليها مصطلحات مرادفة أخرى مثل سهول الوادى *Valley flats* أو السهول الفيضية *Alluvial plains* .

وقد دلت نتائج الدراسات الجيومورفولوجية التى قام بها الأستاذ توماس كلمنتس سنة ١٩٦٣ أنه ليس ضروريا أن تشتمل السبخات الملحية على سهول صحراوية مستوية تشغل المنطقة التى تحيط بها ، كما أن هذه السهول قد ترجع نشأتها إلى فعل التراجع الخلفى للحافات الجبلية الصحراوية *"Scrap Recession"* بفعل كل من التعرية النهرية والهوائية وتكوين سهول صحراوية جبلية مستوية السطح وهى التى يطلق عليها تعبير «سهول صحراوية تحت أقدام الجبال» *Pediplains* وتنحدر منحدرات البديمنت التحاتية صوب الأراضى المنخفضة انحداراً هيناً وتغطى أسطحها بالرواسب الرملية والغطائية الفيضية مكونة ما يعرف باسم السهول البيدمونت الارسابية *Piedmont* (للدراسة التفصيلية راجع أبو العينين ١٩٩٥) .

وأهم ما يميز هذه السهول كما قد تدل على ذلك تسميتها أنها مستوية السطح تماما بحيث من النادر أن تزيد درجة انحدار السطح فيها عن درجة واحدة. وتعد هذه السهول بالاضافة إلى أرضية السبخات البحيرية أظهر الأسطح استواء فى الصحارى الحارة الجافة . ويمكن القول أن أهم العوامل التى تساهم فى نشأتها تتمثل فى التراجع الخلفى للحافات الصخرية وتشكيلها بواسطة الغطاءات الارسابية *Sheet Wash* .

رابعا : أقاليم الحقول الصخرية *Bedrock Fields* :

عندما يتألف سطح الصحراء من طبقات صخرية صلبة دون تغطيته بأى من الرواسب الرملية أو الحصوية فيعرف باسم السطوح الصخرية الصحراوية . وترتبط أقاليم هذه السطوح الأخيرة بالمناطق الجبلية المرتفعة فى الصحراء خاصة كل من مناطق البديمنت التحاتية *Pediments* والقباب الصحراوية *Desert Domes* والحمادة *Hammadas* .

(أ) أما مناطق البديمنت ، فهى تلك السهول الصخرية التحاتية التى تقع تحت أقدام المنحدرات الشديدة ، والحافات الصخرية فى المناطق الصحراوية . وتتميز بأن انحدارها تدريجى وقد يشكل سطحها أحيانا بعض المفتتات الصخرية *Rock plains or conoplains* . وأول من استخدم هذا التعبير علميا الأستاذ بريان كيرك *K. Bryan* عام ١٩٢٥ (١) . وعلى ذلك فإن أهم ما يميزها سطحها الصخرى المائل تحت أقدام المرتفعات والذى ينحدر تدريجيا صوب المنحدرات السفلى وقيعان الأودية ، وقد يتضرس سطح البديمنت فى بعض الأحيان إذا تقطع بواسطة الوديان الصغيرة التى يزداد تعمقها فى الأجزاء العليا من البديمنت وتتسع جوانبها ويقل تعمقها فى الصخر كلما اتجهت صوب المنحدرات السفلى .

وقد اختلفت الآراء فيما يختص بنشأة «البديمنت» ، ويعتقد البعض أنها

(1) Bryan. K., "Mountain pediment" U. S., Geol. Survey. 1925.

ترجع إلى أثر فعل الغطاءات الفيضية *Sheet Flood* ومن أنصار هذا الرأى الأستاذ ماجى *W. J. McGee* عام ١٨٩٧ (١) ، أما البعض الآخرفيعتقد أن نشأة البديمنت ربما ترجع إلى توالى عمليات حدوث النحت الجانبى للأودية العميقة الكبرى التى تجاور الحافات الصخرية الموازية لمجاريها . وتبعا لذلك تستمر هذه الحافات فى التراجع الخلفى *Back Wearing or Scarp Recession* ، تبعا لتأثير التجوية والتعرية المختلفة فى الصخور . ويعد من أنصار هذا الرأى الثانى بيج *Paige, 1912* وبلاك ويلدر *Blackwelder, 1931* وجونسون *Johnson, 1932* وهناك فئة ثالثة من الباحثين اعتقد أصحابها أن نشأة البديمنت قد ترجع إلى كل هذه العوامل مجتمعة (تراجع الحافات الصخرية وفعل التعرية الجانبية للأنهار. وتأثير الغطاءات الفيضية) ومن ثم عرفت نظريتهم باسم النظرية المركبة *Compound Theory* ، ومن أنصار هذا الرأى برايان *Bryan, 1923* ، وجيللى *Gilluy, 1937* ، وبرادلى *Bradley, 1940* (للدراسة التفصيلية راجع أبو العينين ١٩٩٥–أ) .

(ب) أما الأقاليم التى تشغلها القباب الصخرية ، فهذه تشكل بوجه خاص صحراء جنوب كاليفورنيا فى الولايات المتحدة الأمريكية . ويبدو السطح فى هذه الحالة على شكل قباب واسعة الامتداد ويتراوح قطر كل قبة من ٣ إلي ٨ أميال بينما يتراوح ارتفاعها من ٥٠٠ إلي ٢٠٠٠ قدم فوق سطح الأراضى المجاورة . وقد يتخذ بعضها الآخر الشكل الطولى أو الاسطوانى ، ويطلق عليها هنا تعبير الأقواس الصحراوية *Desert Arch* ويعد الأستاذ «لاوسن *Lawson*» عام ١٩١٥ (٢) ، أول من درس هذه الظاهرة وأطلق عليها تعبير *panfans*، ثم اهتم بدراستها بعد ذلك كل من وليم موريس دافيز (٣) سنة ١٩٣٣ وجيللى عام

---

(1) Mc. Gee, W. J., "Sheet flood erosion", Geol. Soc. Amer/ Bull. (1897). 87 - 112.

(2) Lawson, A. C., "The epigene profiles of the desert", Univ. of California, Dept of Geol. Bull., (1915) 23 - 48.

(3) Davis, W. M., "Geomorphology of the desert", Amer. Pan. Geol., vol. 60 (1933), 374 - 375.

١٩٥١ (١) .

وتنتشر هذه الظاهرة فى صحراء جنوب كاليفورنيا ومن بين أهم قبابها الصخرية تلك المعروفة باسم سيما *Cima* نوبل *Noble* وكالسيو *Kalsio*، كما تتمثل الأقواس الصخرية فى نفس المنطقة السابقة كذلك ومنها قوس كدباك *Cuddeback* وقوس نيدل *Needles arch* . وعلى الرغم من عظم ارتفاع القباب بالصخرية الصحراوية الا أنه تبعا لامتدادها الكبير فيتميز انحدارها بكونه بسيطا جدا بحيث لا يزيد عن ٤° . وكثيرا ما تنمو النباتات الشوكية على الحدود الفاصلة بين كل قبة وأخرى أو بمعنى آخر تتجمع النباتات حول محيط كل قبة حيث تكون قريبة نسبيا من المياه الباطنية من جهة ، وتتركز فى المناطق التى تتجمع فيها مياه السيول من جهة أخرى .

ويرجح بعض الكتاب أن هذه القباب الصخرية الصحراوية تنشأ غالبا فى الصخور الجرانيتية عندما تتعرض لعمليات الرفع التكتونية التدريجية *Slowly Uplifted* تحت ظروف المناخ القارى الحار الجاف .

(ج) أما مناطق الحمادة : فهى تطلق على تلك المناطق المستوية السطح ، الواسعة الامتداد والتى تغطى عادة بكميات هائلة من المفتتات الصخرية . وهى تنتشر فى أجزاء واسعة متفرقة من الصحراء الكبرى وصحراء كلهارى فى أفريقيا وصحراء شبه الجزيرة العربية فى آسيا وصحراء أتكاما فى أمريكا الجنوبية وصحراء غرب أستراليا . غير أن الأستاذ توماس كلمنتس ، قد أكد أن هذه الظاهرة غير ممثلة فى الصحارى الحارة الجافة بأمريكا الشمالية .

وقد اقترح الباحثون أن نشأة سطح الحمادة قد يرجع إلى أى أو كل من :

١ - فعل عوامل التعرية السائدة فى مناطق الصحارى الحارة الجافة وأثرها فى تشكيل الحافات الصخرية . ففى المراحل الأولى من سلسلة التطور

---

(1) Gilluy, J., and others. "Principles of geology". San Francisco, Cairo 1951.

تتآكل الحافات وتتراجع خلفيا ، وقد تؤدى إلى تكوين سفوح أو أسطح البديمنت . وعندما تتعرض هذه الأخيرة لكل من فعل التعرية الشديدة والتقطع النهرى تتفتت صخورها وتتكون سهول واسعة الامتداد مغطاة بالحصى والحصباء والجلاميد الصخرية وتمتد منحدراتها عادة صوب المنخفضات والأحواض الصحراوية وتعرف باسم الحمادة *Hammada* .

٢ – اختلاف التكوين الصخرى ، فعندما تقع صخور لينة متعاقبة فوق طبقات أفقية صلبة ، قد تتعرض الصخور العلوية اللينة للتآكل بسرعة ومن ثم قد تظهر أسطح الصخور الصلبة على السطح وتكون سطحاً صخريا مستويا يعرف باسم سطح الحمادة .

خامسا : أقاليم المراوح الفيضية والبجادا *Alluvial Fans and Bajadas* :

عند خروج نهايات الأودية شبه الجافة الشديدة الانحدار من مخارجها الجبلية أثناء حدوث الفيضانات المندفعة *Flash Floods* بحمولتها الكبيرة الحجم من الرواسب وانتشارها فوق الأراضى شبه المستوية السطح البسيطة الانحدار الواقعة تحت أقدام الجبال ، تهبط سرعة جريانها فجأة وتقل قدرتها على نقل حمولتها الارسابية وتتشعب مجاريها فى اتجاهات مختلفة متعددة ذات نمط توزيعى اشعاعى *radially distributed pattern* ، وتنساب المياه فى مجارى ضحلة فى منطقة رأس المروحة وتكون هنا مجدلة ومضفرة *braided channels* ، وتنتشر حمولة كل هذه المجارى ذات المفتتات المستديرة وشبه المستديرة الشكل على هيئة مروحة فيضية *Alluvial Fan* . ويتشكل التصريف المائى ومورفولوجية المروحة الفيضية بفعل كل من الغطاءات الفيضية *Sheet Wash* والإنسيابات الطينية *Mud Flows* والسيول الفيضية الجارفة المندفعة *Flash Floods* وتحرك المواد فوق أرضية المجارى الضحلة القليلة التعمق . وعند تكرار حدوث هذه العملية بعد كل فيضان سيلى جارف فى الوادى شبه الجاف تتراكم فرشات الرواسب الفيضية بعضها فوق البعض الآخر ، ويعلو سمكها عند رأس المروحة *Apex or Fanhead* الملتصق

بعنقها *Fan's neck* عند مخرج الوادى ، ويقل سمك الرواسب الفيضية نسبياً عند أقدامها *its toe* أو ما قد يسمى بأطرافها الحدية القوسية الشكل *Marginal Curves* .

ويتميز التصريف المائى فوق سطح المروحة بانتشار المجارى الضحلة اشعاعيا ورأس المروحة وامتداده فى كل اتجاهات المروحة . غير أنه عند حدوث الفيضانات السيلية فقد تجرى المياه السطحية فى بعض هذه المجارى دون بعضها الآخر ، وقد تظل هذه المجارى الأخيرة مهجورة لفترة طويلة من الزمن إلى أن تجرى فيها المياه من جديد (أبو العينين ١٩٨٩ ص ٦٢٤ ، ص ٦٥٥) .

وإذا كانت المراوح الفيضية تتفق فيما بينها من حيث شكلها المروحى أو المثلثى العام ومواقعها عند مخارج بعض الأودية *outlets* الواقعة تحت أقدام الجبال وخاصة فى المناطق شبه الجافة ، فإنها تختلف من مروحة إلى أخرى من حيث المساحة والحجم ونوعية الرواسب الفيضية المكونة لها . وقد أطلق بعض الباحثين على هذه الظاهرة مسميات متعددة ، فمنهم (يوسف تونى ١٩٧٧ ص ٤٥٩) من أسماها «بالمروحة الغرينية» غير أن الرواسب التى تتألف منها المروحة لا تتكون كلها من الغرين *Silt* بل هى رواسب فيضية مختلطة *Mixed alluvial or fluviatile deposits* كما أطلق عليها البعض الآخر تعبير «مخروط الإنصباب» أو «مخروط الانقاض» *Cone de dejection* (عادل عبد السلام ١٩٧٨ ص ١٥٤) . ويصعب استخدام هذا المصطلح الأخير ، وذلك لأن تعبير «مخروط» *Cone* يطلق أيضا على بعض الظاهرات البركانية مثل المخروطات البركانية *Volcanic cones* ، وكذلك على مخروطات الرواسب الجبلية *Colluvial cones* . وقد استخدم ثورنبرى *Thornbury (1969) p. 173* تعبير المخروط الإرسابى الفيضى *Alluvial cone* ليدل على المراوح الفيضية الصغيرة الحجم الملتصقة بالحافات الجبلية ». ومثل هذه المراوح تكون فى المراحل الأولى من نموها وذات انحدارات

محورية شديدة جدا وقصيرة . وأوضح ثورنبرى بأن المراوح الفيضية الناضجة التى *mature alluvial fans* قد تلتحم مع بعضها البعض وتكون سهول البيدمونت الفيضية *Piedmont alluvial plains* أو البجادا *Bajada* . ومثل هذه الحالة سبق أن درسها الباحث من قبل فى سهول البيدمونت الواقعة إلى الشرق من قريتى مليحة والمدام (أبو العينين ١٩٩٥) (١) فى دولة الامارات.

وقد شغلت هذه الظاهرة الفريدة - تبعا لأهميتها الجيومورفولوجية والاقتصادية - أذهان العلماء قديماً وحديثاً . ومن بين أقدم الدراسات الجيومورفولوجية التى تناولت هذه الظاهرة بالدراسة تلك التى قام بها كل من ماجى *McGee. W. T. 1897* ووليمك موريس دافيز *Davis. W. M., 1899, 1902* وفينمان *Fenneman, N. M. 1906* ولاوسون *Lawson. A. C., 1915.* وجونسون *Johnson, D. W. 1932* وبرايان كيرك *Brayan Kirk, 1932, 1955* ومن بين أهم الدراسات الحديثة للمرواح الفيضية تلك التى قام بها الأستاذ ادريان هارفى وخاصة خلال الفترة من عام ١٩٨٤ إلى عام ١٩٩٢ *Harvey, A., 1984 - 1992* ، وبيتى *Beaty, C. B (1990)* .

ومن أظهر مناطق تكوين المراوح الفيضية فى دولة الامارات العربية المتحدة هى تلك التى تتمثل تحت أقدام السفوح الغربية للمرتفعات الجبلية الشميلية التى تشرف على الجانب الشرقى للسهول الحصوية وخاصة فيما بين الشويب فى الجنوب والمدام فى الشمال ، وكذلك فى حوض مسافى الجبلى الواقع إلى الشرق من الذيد . كما شاهد الباحث مجموعات صغيرة الحجم من

---

(١) حسن أبو العينين :

(أ) «السهول الحصوية فى دولة الامارات العربية المتحدة وخصائصها الجيومورفولوجية» الجمعية الجغرافية الكويتية رقم ١٧٦ لعام (١٩٩٥) ص ١ - ٥٦ .

(ب) «مروحة وادى بيح الفيضية - شرق رأس الخيمة دولة الامارات العربية المتحدة» الجمعية الجغرافية الكويتية ، لعام (١٩٩٥) مقبول النشر .

(جـ) «الموارد المائية فى مروحة وادى بيح الفيضية ودورها فى التنمية الزراعية» الجمعية الجغرافية الكويتية لعام (١٩٩٥) مقبول للنشر .

المراوح الفيضية فى أحواض أودية دبا وحام وسيجى ، وأودية الساحل الشرقى فى دولة الإمارات مثل عازر والغرس شمال لولية . ووادى سيح الخور الذى يصب فى خليج خورفكان وأودية حلايم شمال الفجيرة ومدحة عند قدفع ومربح وثيب عند القرية (أبو العينين ١٩٨٩ ، ١٩٩٠ ، ١٩٩٥) . هذا إلى جانب تكوين المراوح الفيضية عند أقدام السفوح الغربية لمرتفعات رؤوس الجبال شرق مدينة رأس الخيمة ، وتتلخص الخصائص العامة لهذه المراوح الفيضية فى الآتى :

(أ) إن جميع المراوح الفيضية الممثلة فى حوض مسافى الجبلى وفى أحواض بعض الأودية الجبلية التى تشق المرتفعات الشميلية فى دولة الامارات هى من النوع الصغير الحجم ويتراوح مساحة الواحدة منها من ٠,٢٥ إلى ٣ كم^{٢} ، وأهم ما يميزها شدة انحداراتها المحورية القصيرة والتى تمتد من رأس المروحة حتى أقدامها .

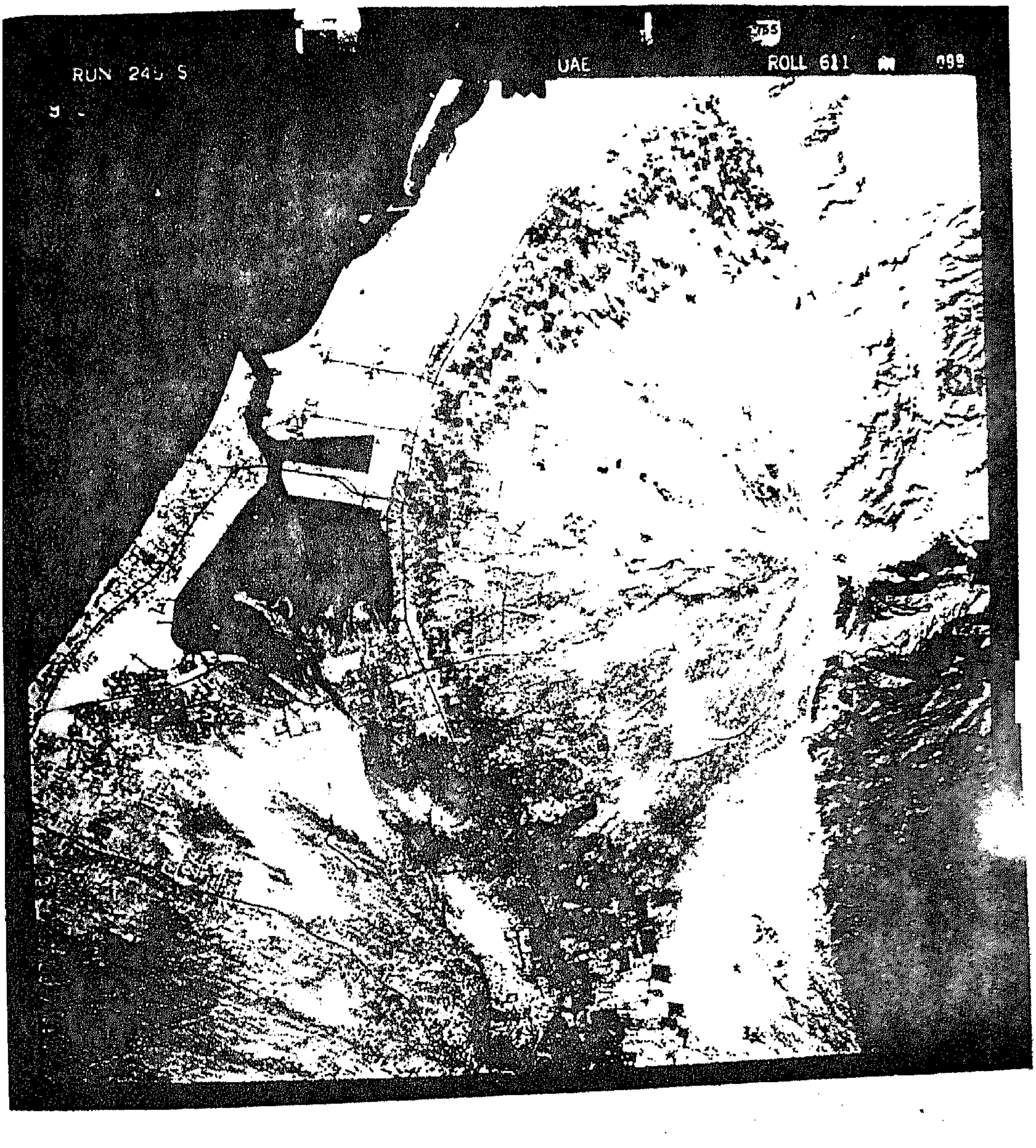
(ب) تتأثر رؤوس المراوح الفيضية الصغيرة الحجم الشديدة الانحدار المحورى وخاصة فى حوض مسافى الجبلى وفى أحواض أودية حام ودبا وسيجى بتقطعها الشديد بفعل المجارى الجبلية المتعمقة فى رواسب رأس المروحة والتى تؤدى فى النهاية إلى سرعة تآكل الرواسب الفيضية للمروحة .

(جـ) تظهر المراوح الفيضية تحت أقدام السفوح الغربية للمرتفعات الجبلية الشرقية فيما بين الشويب والمدام على شكل غطاءات فيضية هائلة الامتداد ، وتؤدى إلى تكوين السيوح أو البهادا (البجادا) كما هو الحال فى القسم الأدنى من وادى عجيب وسيح الحرمل وسيح أم الطراثيث وسيح الشراريخ (أبو العينين ١٩٩٥) ، ويعزى ذلك إلى اقتراب بعض مخارج الأودية الجبلية من بعضها الآخر ، وانفتاح السهول الحصوية على أراضى مستوية السطح شاسعة الامتداد نحو الغرب ، بحيث تتيح للرواسب الفيضية فرصة الانتشار الواسع والافتراش على مساحات عريضة ومن ثم تتداخل الرواسب الفيضية لهذه الأودية شبه الجافة هنا يتشابه بعضها مع البعض الآخر .

(د) أما فى منطقة شرق رأس الخيمة فى دولة الامارات فتتميز المراوح الفيضية بكبر حجمها واتساع مساحتها وان أكبرها حجما واتساعاً هى مروحة وادى بيح الفيضية (٤٠ كم٢) . وقد ساعد على تكوين هذه المجموعة من المراوح البعد النسبى بين مخرج كل وادى شبه جاف عن آخر ، وانفصال كل مروحة عن الآخرى بنتوءات أو بروز جبلية *Spurs* ووقوع المراوح الفيضية الكبيرة الحجم تحت أقدام الحافات الصدعية .

وإذا كانت مخارج الأودية المتعمقة شبه الجافة تقطع الحافات الجبلية فى المناطق الحارة الجافة وتجزأ سهول البديمنت التحاتية *Erosional Pediment* الواقعة تحت أقدام هذه الجبال ، فإنها قد تؤدى كذلك إلى تكوين مراوح فيضية تختلف فيما بينها فى أحجامها وأبعادها تبعا لاختلاف مساحة حوض الوادى الذى تسبب فى نشأتها . وتسهم المراوح الفيضية وخاصة عند إلتحامها بعضها بالبعض الآخر فى تكوين سهول واسعة الامتداد منبسطة السطح مغطاة بالرواسب الفيضية تعرف باسم سهول البيدمونت الإرسابية *Depositional Piedmont* ويتألف انحدار سهل البيدمونت من عدة عناصر متلاحقة تحت أقدام سفوح الجبال من سهول البجادا *Bajada* والأسطح الصحراوية المستوية *Desert Flats* ، والأحواض الصحراوية *Bolsons* والتى قد تشغلها بحيرات البلايا وتتمثل هذه الظاهرات كلها بشكل جيد فى السهول الصحراوية الحصوية تحت أقدام السفوح الغربية لمرتفعات الشيميلية فى مناطق الشويب والمدام ومليحة فى دولة الامارات العربية المتحدة (أبو العينين ١٩٩٥ أ ، ب ، جـ) .

غير أن أكبر مروحة فيضية مساحة فى دولة الامارات العربية المتحدة هى مروحة وادى بيح الفيضية ، وقد قام الباحث بدراستها باستخدام الصور الجوية والمرئيات الفضائية والدراسات الميدانية وأجرى مقارنة بين نتائج كل من هذه الأساليب المختلفة بغية تحليل مظهر المروحة وخصائصها الجيومورفولوجية (أبو العينين ١٩٩٥ ب ، جـ) (لوحة ٧١ب ولوحة ٧١ج) .



(لوحة ٧١ ب) صورة جوية لمروحة وادى بيح الفيضية . شرق رأس الخيمة
دولة الامارات العربية المتحدة



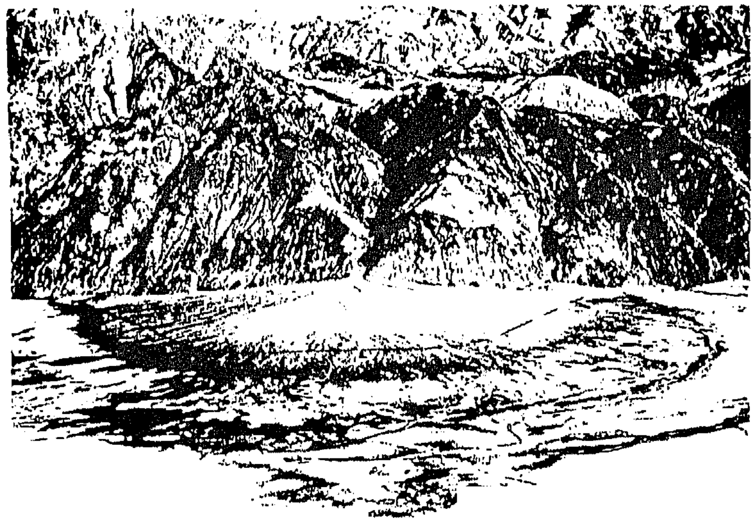
(لوحة ٧١ ج) مرئية فضائية لمروحة وادى بيح الفيضية ، شرق رأس الخيمة
دولة الامارات العربية المتحدة

ومن أظهر المراوح الفيضية فى العالم الجديد ما يتمثل منها فى حوض وادى ديث *Death* حيث تتجمع نماذج متعددة من هذه المراوح تحت أقدام الحافات الصخرية الصدعية وعند نهايات الأودية شبه الجافة التى تقطع هذه الحافات (لوحة ٧١ د) .

سادسا : أقاليم أحواض الأودية الجافة *Dry Washes* :

تبعا لسقوط الأمطار الغزيرة الفجائية فى بعض أجزاء من مناطق الصحارى الجافة مرة كل مدة طويلة متباعدة من الزمن (قد تكون مرة كل عام أو مرة كل خمسة أعوام) ، لم تساعد هذه الظروف على تكوين أنهار دائمة الجريان ، بل يتميز سطح الصحراء بتقطعة بواسطة أودية جافة تشبه تلك فى المناطق الرطبة الا أنها خالية من المياه . ويطلق على المناطق الحوضية التى تتجمع فيها المسيلات المائية والأودية الجافة تعبير أحواض الأودية الجافة وللاختصار «الأحواض الجافة» *Dry Washes* . وتعرف هذه الأحواض فى الصحارى الحارة لأمريكا الشمالية بأسماء مختلفة كذلك منها ، *Arroyos ,Washes, Gullies, Canyons and Coulees* أما فى صحارى شبه الجزيرة العربية والصحراء الكبرى فتعرف باسم الأودية والأحواض الجافة ، وباسم شاب *Chapp* فى صحراء جوبى ولاجت *Laagte* فى صحراء كلهارى بجنوب أفريقيا .

ويتميز سطح الأحواض الجافة باستوائه الشديد وضعف انحداره وعدم تضرسه ، فيما عدا حوافه الهامشية التى قد تحطيه الحافات الصخرية العالية الشديد الانحدار ، وهذه الأخيرة تتميز عادة بشدة تضرسها وتقطعها بواسطة الأودية الجبلية العميقة . وتنتشر الأحواض الجافة فى الصحارى التى تسقط عليها بعض الأمطار أو تحدث فيها السيول . ويساعد انحدار مياه الأمطار فوق السفوح الشديدة الانحدار على شق الأودية ثم تجمعها فى الأحواض الداخلية المنخفضة كما هو الحال فى الصحارى الحارة الجافة بالولايات المتحدة الأمريكية ، وفى أجزاء متفرقة من الصحراء الشرقية وصحراء شبه جزيرة



(لوحة ٧١ د) مروحة وادى ديث الفيضية فى صحارى غرب الولايات المتحدة الامريكية

سيناء بجمهورية مصر العربية . ومن بين أمثلة هذه الأحواض الجافة فى شمال سيناء حوض المساجد وحوض المراحيل حيث تتجمع فيهما مصبات أودية الصفا والمراحيل والمساجد والدبيل *(Abou el-Enin, H. 1971)* .

سابعا : الأقاليم الصحراوية الوعرة *Badlands* :

أطلق المهاجرون القدماء الذين وفدوا إلى صحارى جنوب غرب قارة أمريكا الشمالية خلال القرن الثامن عشر تعبير «الأراضى الوعرة» *Badlands* على تلك الأراضى الصحراوية الجبلية التى تقسمها السيول إلى أخاديد طولية عميقة متوازية وتتميز أسطح أراضى ما بين الأودية بجروف وحزوز طولية حادة غير عميقة . وتبعا لشدة تضرس هذه الأقاليم الوعرة ، أطلق عليها كذلك «الأقاليم التى يصعب اجتيازها» - *Mauvaises terres pour traverser* . *Badlands to Cross*

وقد درس هذه الظاهرة فى صحارى أمريكا الشمالية الأستاذ باويل

Powell عام ١٨٧٥ . وقد أوضح أن السفوح الجبلية الوعرة التى تقطع أسطحها الجروف الطولية المتوازية ، كثيرا ما تكون على أشكال أهرامات مخروطية وتتركب أساسا من الطبقات الرملية أو الرملية الطينية أو الصلصالية. أما كل من جيلبرت *Gillbert* عام ١٨٧٧ ، ووليم موريس دافيز *W. M. Davis* عام ١٨٩٨ ، فقد أوضحا ان أهم ما يساهم فى نشأة هذه الظاهرة هو ندرة وجود الغطاء النباتى فوق أسطح الصخور المتجانسة اللينة فى المناطق الصحراوية الحارة الجافة . وتتعرض أسطح هذه الصخور لفعل الأمطار الوقتية الغزيرة أو السهول التى تتكون فيها جروف طولية عديدة متوازية لبعضها البعض وتقع فيما بينها على مسافات محدودة جدا قد لايزيد اتساعها عن مترين بحيث يصعب اجتياز مثل هذه المناطق على الأقدام . واذا تعرضت الأقاليم الوعرة مدة طويلة لفعل التعرية الهوائية ، تعمل الأخيرة على تشكيل الجروف والتحام بعضها بالبعض الآخر ومن ثم تقل وعورة السطح عما كانت عليه من قبل . وفى هذه الحالة يطلق عليها تعبير الأقاليم الوعرة الناضجة *Subdued Badlands* .

وقد درس الأستاذ توماس كلمنتس ، هذه الظاهرة فى صحارى الولايات المتحدة الأمريكية عام ١٩٦٣ ، وميز بين كل من الأراضى الوعرة الشابة المظهر فى إقليم زباريسكى *Zabriskie* (فى وادى ديث *Death Valley*) والأراضى الوعرة الناضجة المظهر فى مرتفعات كالسيو *Calico Mountains* فى جنوب كاليفورنيا . وتشكل كل من الأقاليم الوعرة الشابة ، والوعرة الناضجة أجزاء متفرقة لسفوح مرتفعات البحر الأحمر ومرتفعات شبه جزيرة سيناء خاصة فى تلك الأقاليم التى تتألف من طبقات الصخور الرملية والطينية والصلصالية (١) .

ثامنا : الأقاليم البركانية فى الصحارى الحارة :

قد تشكل الثورانات البركانية مظهر سطح الأرض فى بعض أجزاء من الصحارى الحارة خاصة إذا ما كانت هذه المناطق الصحراوية حديثة النشأة التكتونية ويتميز المظهر الجيومورفولوجى العام لبعض أجزاء الصحارى الحارة

---

(١) حسن صادق ،الجيولوجيا، القاهرة (١٩٣٠) ، ص ٩٢ .

الجافة فى الولايات المتحدة الأمريكية بواسطة المخروطات واللافا والمصهورات البركانية التى أسهمت فى تغطية أجزاء واسعة من سطح الأرض . وقد عملت هذه المصهورات على تشكيل الرواسب والمفتتات الصخرية التى قد تحمل بواسطة الرياح وتلقى فى مناطق أخرى قد تبعد عدة مئات من الأميال عن مصدر الصخور البركانية .

وقد تأثرت بعض أجزاء من صحارى أمريكا الشمالية ببراكين حديثة العمر نسبيا حيث يرجع معظمها إلى الزمن الرابع . ومن بين أهم هذه البراكين سنسيت *Sunset Crater* فى صحراء أريزونا ، وأمبوى أو بغداد *Amboy or Bagdad* وبيسا *Pisgah* فى صحراء كاليفورنيا ، وكذلك بعض المخروطات البركانية فى وادى ديث *Death Valley* وفى إقليم سونوران *Sonoran* فى صحراء أريزونا .

وتبين من نتائج الدراسات الجيولوجية التى أجريت فى بعض أجزاء من الصحارى الحارة لجمهورية مصر العربية ، أن سطح الأرض فيها قد تأثر كذلك بفعل حدوث الثورانات البركانية خلال العصور الجيولوجية المختلفة . فتعرض سطح مصر خلال العصر الكمبرى لفعل النشاط البركانى ، وعرفت هذه الفترة باسم «مرحلة الجرانيت الشتيانى» ، ومرحلة «نشاط جبل الدخان البركانى» . كما حدثت بعض الثورانات البركانية كذلك خلال الزمن الجيولوجى الأول ، وأطلق عليها اسم مرحلة نشاط جبل جتار البركانى . أما خلال الزمن الجيولوجى الثالث «فى عصر الميوسين» فقد شكلت هذه الثورانات البركانية معظم الطبقات الصخرية فى منطقة خليج السويس الحوضية الصدعية *Gulf of Suez Taphrogeosyncline* (١) .

وقد تبين أن معظم الثورانات البركانية التى شكلت صخور الصحارى الحارة الجافة المصرية انبثقت خلال الشقوق والفوالق *Fissure Eruption* ومن ثم لم تنجح فى أن تكون مخروطات بركانية كتلك التى تتمثل فى صحارى أمريكا الشمالية . ومع ذلك فهناك بعض المخروطات البركانية

---

(1) Said. R., "The Geology of Egypt". Elseviér Press. New York (1962), 42.

صحارى أمريكا الشمالية . ومع ذلك فهناك بعض المخروطات البركانية الصغيرة الحجم الانفرادية مثل تلك الواقعة فى بعض أجزاء من طريق القاهرة - السويس .

يتضح من هذا العرض السابق أن سطح الصحارى الجافة يتشكل بأقاليم جيورمورفولوجية متباينة تبعا لاختلاف التكوين الصخرى ونظام بنية الصخور من جهة ، وعوامل التعرية المختلفة التى شكلت هذه الصخور وطول الزمن الذى تعرض له السطح لفعل عوامل التعرية من جهة أخرى . ولكن ليس ضروريا أن تتميز كل صحراء جافة فى العروض المدارية بكل هذه الأقاليم الجيومورفولوجية السابقة كما تختلف نسبة مساحة هذه الأقاليم فيما بينها بالنسبة للمساحة الكلية للصحراء التى توجد بها (أنظر الجدول الآتى) وتبعا

التصنيف الجيومورفولوجى لبعض أقاليم الصحارى الحارة الجافة فى العالم ، ونسبة مساحة كل إقليم بالنسبة للمساحة الكلية للصحراء التى يوجد بها (١)

الوحدات أو الأقاليم الجيومورفولوجية فى الصحارى	صحراء جنوب غرب الولايات الأمريكية	الصحراء الكبرى فى الجزائر وأفريقيا الغربية	الصحراء الليبية	شبة الجزيرة العربية
أقاليم السبخات البحرية	١,١ ٪	١ ٪	١ ٪	١ ٪
أقاليم السهول الصحراوية المستوية	٢٠,٥	١٠	١٨	١٦
أقاليم الحقول الصخرية	١,٩	١١	٩	٢
أقاليم المرواح الفيضية والبجادة	٣١,٤	١	١	٤
أقاليم الكثبان الرملية	٠,٦	٢٨	٢٢	٢٦
أقاليم الأحواض الجافة	٣,٦	١	١	١
الأقاليم الوعرة	٢,٦	٢	٨	١
الأقاليم البركانية	٠,٢	٣	١	٢
الأقاليم الجبلية الصحراوية	٣٨,١	٤٣	٣٩	٤٧
المجموع	١٠٠ ٪	١٠٠ ٪	١٠٠ ٪	١٠٠ ٪

(1) Clements, T., "A study of desert surface Conditions" Q. R. D. C. Tech. Report. E. P. (1963) p. 107.

لدراسات الأستاذ «توماس كلمنتس» الحقلية فى الصحارى الجافة فى جنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية عام ١٩٦٣ ، ودراسته لبعض صحارى العالم الحارة الجافة بواسطة تفسيره ظاهراتها الجيومورفولوجية الكبرى باستخدام الصور الجوية والاستشعار من بعد *Remote Sensing* ، حاول أن يقوم بعمل دراسة مقارنة تختص بتصنيف الأقاليم الجيومورفولوجية فى كل صحراء وتحديد النسبة التقريبية لمساحتها بالنسبة لمساحة الإقليم الكلية . وتظهر نتائج دراسته فى الجدول السابق ، ويمكن أن نستخلص من هذا الجدول الملاحظات التالية :

١ - أكبر الأقاليم الجيومورفولوجية مساحة وامتداداً فى كل من الصحراء الكبرى «فى الجزائر ، وغرب أفريقيا ، والصحراء الليبية وصحراء بلاد العرب ، تتمثل فى الأقالم الجبلية الصحراوية والكثبان الرملية والسهول الصحراوية المستوية ، حيث تبلغ نسبة مساحة هذه الأقاليم مجتمعة نحو ٨١ ، ٧٩ ، ٨٩ ٪ من المساحة الاجمالية لكل صحراء على التوالى .

٢ - أقل الأقاليم الجيومورفولوجية امتداد فى الصحارى الحارة الجافة هى أقاليم السبخات البحيرية حيث تبلغ نسبة مساحتها نحو ١ ٪ من المساحة الكلية لصحارى جنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية والصحراء الليبية وصحراء شبه الجزيرة العربية .

٣ - تبعا لغزارة سقوط الأمطار الفجائية وحدوث السيول فى صحارى جنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية إذا ما قورنت بغيرها من هذه الأقاليم الصحراوية السابقة ، فإن مساحة المراح الفيضية والبجادة تبلغ نسبتهما فيها نحو ٣١,٤ ٪ من جملة مساحتها ، بينما لا تزيد نسبة مساحة هذه الأقاليم الجيومورفولوجية الأخيرة عن ١ ٪ فى كل من الصحراء الكبرى والصحراء الليبية و ٤ ٪ فى صحراء بلاد العرب .

٤ - نتج عن سقوط الأمطار فى صحارى جنوب غرب الولايات المتحدة تكوين بعض الغطاءات النباتية وتميزت التربة الصحراوية بتماسك

أجزائها نسبيا ، لذا لم تعط الفرصة لتكوين الكثبان الرملية الواسعة الانتشار كما هو الحال فى بقية الصحارى الأخرى فى العالم . فبينما تبلغ نسبة المساحة التى تغطيها الكثبان فى صحراء جنوب غرب الولايات المتحدة بالنسبة للمساحة الكلية نحو ٠٦,٠ ، تبلغ نسبة مساحتها فى الصحراء الكبرى ٢٨ ٪ ، وفى الصحراء الليبية ٢٢ ٪ وفى صحراء شبه الجزيرة العربية ٢٦ ٪ .

الفصل الثانى والعشرون

فعل الجليد

تتشكل مناطق واسعة من سطح الأرض بفعل الجليد ويتكون فيها ظاهرات جيومورفولوجية مميزة لا تنشأ إلا بهذا الفعل . غير أن هذه الظاهرات بعضها قديم العمر ، أى تكون بفعل الجليد فى فترات سابقة ولم يعد الجليد يغطى سطح الأرض أو يشكلها فى الوقت الحاضر ومن ثم يمكن أن نطلق عليها ظاهرات جليدية حفرية ، وهذه الظاهرات تتمثل فى المناطق التى يطلق عليها اسم مناطق الأراضى الجليدية البلايوستوسينية *Glaciated Terrains* . والبعض الآخر من الظاهرات يتكون بفعل الجليد فى الوقت الحاضر *Present Glaciers* وهذه تتمثل فى مناطق محدودة جدا تقع فى العروض العليا عند الدائرتين القطبيتين الشمالية والجنوبية فى العالم وذلك تبعا لامتداد الجليد الحالى . غير أن لهذه الدراسة الأخيرة أهمية بارزة فى الاتجاهات الجيومورفولوجية المعاصرة نظرا لقيمة نتائجها فى الدراسات التطبيقية والاسهام فى حل مشاكل عملية .

أولا : العصر الجليدى البلايوستوسينى *Pleistocene Glacial Epoch* :

يستخدم بعض الباحثين مرادفات مختلفة لتدل على الفترة الجليدية أو العصر الجليدى ومن بينها *Glacial Era; or Glacial Period; Glacial Epoch; Glacial Age* . ويقصد بكل مصطلح منها أنخفاض درجة حرارة هواء سطح الكرة الأرضية ، فى فترة زمنية ما ، خلال الزمن الجيولوجى الرابع إنخفاضا كبيراً أدى إلى حدوث البرودة الشديدة وتراكم الثلج فوق اليابس وتجمد المياه السطحية للبحار والمحيطات فى العروض الباردة والمعتدلة . وعندما لا يتعرض الثلج للانصهار ويتبقى متجمعا لفترة طويلة من الزمن يتحول إلى جليد ويغطى السهول الواسعة على شكل غطاءات جليدية

Ice Sheets أو ينساب من المناطق الجبلية المرتفعة على شكل أنهار جليدية أو ثلاجات *Glaciers* .

وقد اتفقت المعاجم اللغوية والجغرافية على أن مصطلح «العصر الجليدى» يقصد به العصر الجليدى البلايوستوسينى بوجه خاص *Pleistocene Glacial Epoch* ، وإن كان الأستاذ ستامب *Stamp (1962) p. 249* يستخدم مصطلح «العصر الجليدى الكبير» *The Greal Ice Age* دلالة على العصر الجليدى الذى حدث خلال عصر البلايوستوسين (الزمن الجيولوجى الرابع) .

وهكذا أصبح شائعا اليوم استخدام مصطلح «العصر الجليدى» *Glacial Epoch or Age* لكى يرمز بوجه خاص إلى تلك الفترة الزمنية التى ساد فيها المناخ الشديد البرودة وحدث فيها الجليد وتكونت الغطاءات الجليدية الكبرى خاصة فى نصف الكرة الشمالى خلال عصر البلايوستوسين . ويعزى السبب فى ذلك إلى انتشار رواسب الجليد البلايوستوسينى فى أجزاء واسعة من سطح الأرض من جهة وإلى أنه أحدث عصر جليدى انتاب كوكب الأرض وقت ظهور الانسان من جهة أخرى .

وقد أكدت نتائج الأبحاث حدوث فترات جليدية أخرى خلال التاريخ الجيولوجى الطويل لقشرة الأرض ومن أقدمها جليد ما قبل الكمبرى *Pre-cambrian Glaciation* ، وكانت الرواسب الجليدية لهذه الفترة تغطى أجزاء واسعة من العروض الدنيا الحالية . ويرجح بعض الباحثين بأن الفترات الجليدية كثيراً ما تحدث عقب انتهاء بناء السلاسل الجبلية الكبرى وحدوث حركات الرفع التكتونية الرئيسة *Major Orogenesis* . كما عثر الجيولوجيون على رواسب جليدية قديمة أخرى ترجع إلى فترة الكربونى الأدنى وأطلق عليها اسم جليد العصر الكربونى الأدنى *Late-Carboniferous Glaciation* . ويلاحظ بأن هذا العصر الجليدى الأخير حدث هو الآخر بعد حدوث الحركات التكتونية الكاليدونية والهرسينية *Caledonion and Hercynian Orogenesis* وقد درس الباحثون رواسب هذه الفترة الجليدية القديمة فى جنوب قارة أفريقيا

ووسطها (تعرف هنا برواسب الديكا الجليدية *Dyweka Boulder Bed*) وكذلك فى شرق البرازيل بأمريكا الجنوبية وبالقسم الجنوبى من هضبة الدكن وبالقسم الغربى من قارة أستراليا . ونتيجة لعثور الجيولوجيين على رواسب جليدية كربونية فى كل هذه المناطق السابقة ، تدعمت نظرية زحزحة القارات *Continental Drift Theory* علميا وتبين للعلماء بأن هذه المناطق السابقة كانت تمثل قديماً قارة واحدة متماسكة الأجزاء وتقع عند المناطق القطبية الجنوبية وتعرضت للجليد الكربونى ، ثم بعد ذلك تعرضت لعملية الزحزحة الأفقية . وقد درس الأستاذ كولمان *Coleman* فى كتابه «العصر الجليدى» الخصائص الجيولوجية والجيومورفولوجية المميزة للتكوينات الجليدية الحفرية *Tillites* فى بعض أجزاء من أستراليا وكندا ويعود عمرها الجيولوجى إلى حدوث فترات جليدية خلال عصر ما قبل الكمبرى *Pre-Cambrian Glaciation* .

وعلى ذلك يمكن القول بأن العصر الجليدى البلايوستوسينى لم يكن هو الأول من نوعه الذى أثر فى تشكيل الأرض وقد لا يكون الأخير . فكما انتابت قشرة الأرض حركات تكتونية كبرى شكلت أجزاء سطح الأرض خلال أزمنة جيولوجية متعاقبة ، تعرض سطحها كذلك لحدوث فترات جليدية أدت إلى تكوين غطاءات جليدية واسعة الامتداد شكلت سطح الأرض فى مناطق واسعة من العروض المعتدلة والباردة وخلال فترات زمنية جيولوجية مختلفة . وقد تتعرض الأرض فى المستقبل لتغيرات مناخية كبرى قد تؤدى إلى إعادة تكرار حدوث العصر الجليدى مرة أخرى .

وتميز العصر الجليدى البلايوستوسينى بتذبذب المناخ بين فترات جليدية باردة *Glacial Phases* يفصل بينها فترات أخرى غير جليدية *Interglacial Phases* دفيئة . وخلال الفترات الجليدية ينساب الجليد بتكويناته المختلفة من المناطق الجبلية المرتفعة فى شمال غرب أوربا وشمال كندا إلى المناطق السهلية المنخفضة فى العروض المعتدلة فى النصف الشمالى من الكرة

الأرضية. وتبعا للبرودة الشديدة كان الجليد يتراكم فوق اليابس ويظل باقيا فيها على شكل قمم وأودية وغطاءات جليدية . ومن ثم ينخفض مستوى سطح البحر خلال الفترات الجليدية (تبعا لتدنى حجم المكتسب من مياه الأنهار والمياه المنصهرة من الجليد) ويتراجع البحر عن الأرض المجاورة له وتتكون المعابر الأرضية التى تربط بين أجزاء القارات خاصة فى مناطق المسطحات المائية الضحلة .

أما خلال الفترات الدفيئة (غير الجليدية) فيتعرض الجليد للانصهار وتنساب المياه من جديد إلى البحر ، ومن ثم يرتفع منسوبه ويتقدم البحر على الأرض المجاورة له وتصبح جزءاً من الرفارف القارية *Continental Shelves* ، كما تختفى فى هذه الحالة المعابر الأرضية وذلك بعد انغمارها بمياه البحر المرتفع المنسوب وقد لا يتبقى منها سوى قممها العالية التى تظهر على شكل جزر وأشباه جزر . وقد أسهمت المعابر الأرضية فى ربط القارات بعضها بالبعض الآخر خلال الفترات الجليدية الباردة وهكذا اتصلت أمريكا الشمالية بالطرف الشمالى الشرقى من آسيا عبر بحر بهرنج وجنوب أوربا بشمال قارة أفريقيا عبر معابر جبل طارق ، وجنوب ايطاليا وجزيرة صقلية ومالطة بشمال غرب ليبيا كما اتصلت أقواس الجزر فى شرق آسيا باليابس الأسيوى وعملت جزر وأشباه جزر شرق آسيا على ربط هذه القارة الأخيرة بقارة أستراليا عبر المعابر الأصلية . وعلى ذلك استطاع الانسان القديم الانتشار فوق كل أجزاء اليابس خلال النصف الأخير من عصر البلايوستوسين عندما كان يشتغل صياداً يتجول من قارة إلى قارة سعياً وراء رزقه .

أسباب حدوث العصر الجليدى :

يرجح بعض العلماء من نتائج دراساتهم لبقايا الحفريات النباتية والحيوانية فى الرواسب الجليدية ، بأن درجة حرارة الهواء فى العروض المعتدلة والباردة خلال الفترات الجليدية كانت أكثر إنخفاضا بنحو ١٠ ° م على الأقل عن معدلاتها الحرارية الحالية . كما تبين لهم كذلك بأن الفترات الجليدية أو

المناخية الباردة هذه كانت متزامنة الحدوث *Synchronous* فى كثير من أجزاء العالم مما يدل على أن التغيرات المناخيه البلايوستوسينية لم تكن تغيرات محلية بل كانت تغيرات شملت كل أجزاء سطح الأرض بدرجات متفاوتة وكان لها تأثيرات متنوعة

وعلى الرغم من أن فترة جليد البلايوستوسين هى أحدث الفترات الجليدية وأن تكويناتها تنتشر فى جهات متفرقة من سطح الأرض ، إلا أنه - حتى الوقت الحاضر - لم تحدد بالضبط العوامل أو الأسباب الفعلية التى أدت إلى حدوث الفترات المناخية الباردة وتكوين الغطاءات الجليدية . وقد رجح العلماء عدة افتراضات لتفسير حدوث الذبذبات المناخية *Climatic Flactuation* وتكوين الفترات أو العصور الجليدية يمكن أن نوجزها فيما يلى :

١ - حدوث تغيرات طارئة في حركة كوكب الأرض

يرى بعض العلماء بأن التغيرات المناخية الكبرى قد يكون مرجعها حدوث تغيرات فى مدار كوكب الأرض أو حدوث اختلافات بسيطة جدا فى درجة ميل محور الأرض . وتعد هذه التغيرات وقتية طارئة ، قد ينجم عنها اختلاف فى مدى فعالية العناصر المناخية ومجالات تأثيرها ومن ثم قد تؤدى إلى حدوث الفترات المناخية الباردة وتكوين الغطاءات الجليدة انعكاساً لإختلاف المؤثرات الحرارية خلال هذه الفترة

ب تغير مركز القطبين بالنسبة لأجزاء قارات سطح الأرض :

يؤكد بعض العلماء بأن هذا العامل ربما يعد من أهم العوامل المسئولة عن حدوث الجليد وحيث إن مركز القطبين لم يتغير خلال عصر البلايوستوسين ، فإن هذا العامل قد يتفق مع أسباب حدوث العصر الجليدى الكربونى . ويعزى أصحاب هذا الرأى حدوث الفترات الجليدية خلال نهاية العصر الكربونى إلى تغير مركز القطبين بالنسبة لأجزاء قارات الأرض عندما كان كتلة الأرض (بنجايا) متجمعة فى نصف الكرة الجنوبية قبل عملية تكسرها وزحزحتها

الأفقية .

جـ - إختلاف المظهر التضاريسى العام لسطح الأرض :

ويعتقد أصحاب هذا الرأى أن حدوث الفترات الجليدية قد يرجع إلى اختلاف كل من المظهر التضاريسى العام والتوزيع الجغرافى لليابس والماء خلال العصور الجيولوجية المختلفة . فقد نجم عن حدوث الحركات البنائية التكتونية الكبرى *Major Orogenesis* (الحركات الكاليدونية والهرسينية والألبية) بناء السلاسل الجبلية الكبرى والتى برزت من قاع المحيطات الجيولوجية القديمة (مثل سلاسل الألب وسلاسل الهيملايا وسلاسل الروكى والأنديز) .

وربما نتج عن زيادة ارتفاع أراضى اليابس أن تغير المناخ وأصبح أكثر برودة . وهكذا نلاحظ أن بعد كل حركة بناء تكتونية يتبعها تغيرات مناخية وحدوث فترات جليدية . فالعصر الجليدى الكربونى جاء لاحقا لحدوث الحركات التكتونية الكاليدونية والهرسينية عند نهاية الزمن الجيولوجى الأول ، وأما العصر الجليدى البلايوستوسينى فقد حدث هو الآخر خلال عصر البلايوستوسين وذلك بعد انتهاء حدوث الحركات التكتونية الألبية عند نهاية الزمن الجيولجى الثالث .

د - تغيرات فى التركيب الكيميائى لعنا صر الغلاف الغازى :

ويعتقد مؤيدو هذا الرأى أن حدوث أى اختلافات جوهرية فى التركيب الكيميائى لعناصر الغلاف الغازى من شأنه أن يؤدى إلى تشكيل سطح الأرض بأنواع مختلفة من المناخ . فمن المعروف أن غاز ثانى أكسيد الكربون يمتص نسبة بسيطة من الاشعاع الأرضى وعلى ذلك ينتج عن زيادة نسبته فى الغلاف الغازى ارتفاع درجة حرارة الهواء الملامس لسطح الأرض والعكس صحيح كذلك . ويتنبأ بعض العلماء اليوم بأن حدوث فجوات الأوزون فى القسم الأعلى من الغلاف الجوى بسبب تلوث الهواء اشعاعياً ، قد يؤدى إلى

وصول قسم كبير من الأشعة فوق البنفسجية إلى سطح الأرض وقد ينتج عن ذلك زيادة فى درجات حرارة الهواء ومن ثم تغيير فى الظروف المناخية الحالية على سطح الأرض .

اختلاف الطاقة الحرارية المنبعثة من الشمس *Energy emitted by the sun* :

ويرجح أصحاب هذا الرأى إلى أن نجم الشمس الكبير مثله كمثل كوكب الأرض الصغير من حيث تعرض كل منهما لتطورات وحركات باطنية تحدث فيهما . فكما تتعرض الأرض لحركات تكتونية كبرى يفصل بين كل حركة منها وأخرى ملايين السنين تبعا للنشاط الاشعاعى لمواد باطن الأرض ، فإن نجم الشمس المشع ذاتياً يتعرض هو كذلك لمثل هذه الحركات الباطنية تبعاً للنشاط الثورانى بين عناصر مواده . وينتج عن حدوث الاضطرابات الداخلية فى مواد باطن الشمس حدوث إنفجارات هائلة فى جسمها وتظهر على سطحها على شكل ما يسمى بالبقع الشمسة *Sun Spots* . وقد يكون لمدى نشاط حدوث هذه البقع الشمسية أثراً فى اختلاف الطاقة الحراية والاشعاعية المنبعثة من الشمس إلى الأرض بين فترة زمنية وأخرى (أبو العينين ١٩٩٥ - د ، هـ) .

ويستعين العلماء بالأدلة الجيومورفولوجية والجيولوجية لمعرفة التغيرات المناخية التى طرأت على مناخ البلايوستوسين . فقد أكدت نتائج هذه الدراسات على أن قيم درجات حرارة الهواء فى العروض المعتدلة والباردة خلال الفترات الجليدية من العصر الجليدى البلايوستوسينى كانت أقل إنخفاضاً عنها فى الوقت الحاضر بما يترواح من ٤° إلى ١٠° م .

ومما يؤكد ذلك ما يلى :

(أ) الامتداد السابق للغطاءات والتى كانت تصل إلى دائرة عرض ٥٠° شمالاً فى أوربا وإلى دائرة عرض ٣٨° شمالاً فى أمريكا الشمالية .

(ب) إنخفاض منسوب خط الثلج الدائم خلال الفترات الجليدية

البلايوستوسينيةبنحو ١٠٠٠ متر عن مستواه الحالى . وقد استنتج العلماء ذلك من دراستهم لمواقع الحلبات الجليدية القديمة *ancient cirques* على منسوب ١٠٠٠ متر أسفل منسوب الحلبات الجليدية الحديثة فى بعض المناطق الجبلية فى العروض المعتدلة .

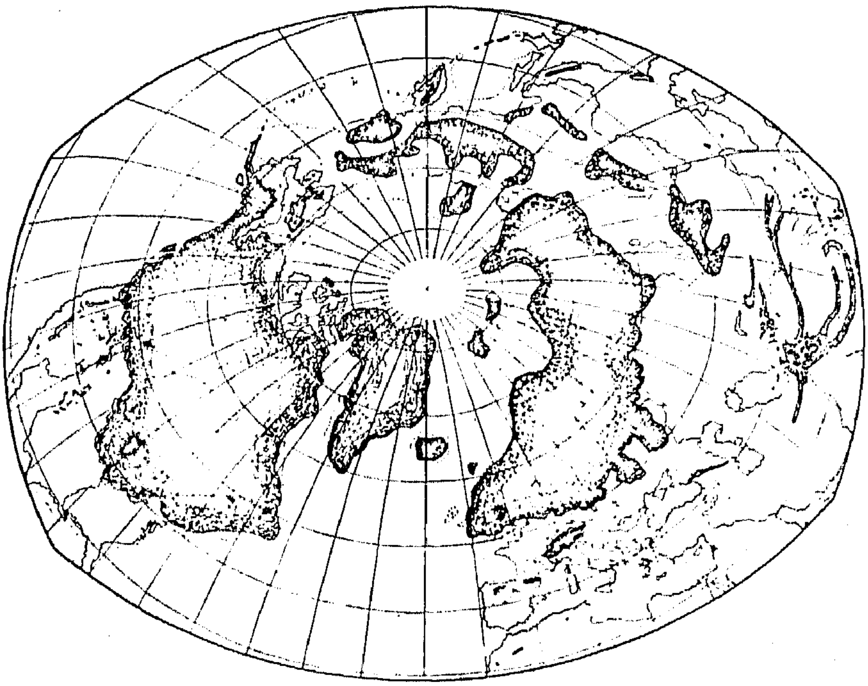
(جـ) دراسة الأدلة الجيومورفولوجية المتنوعة والتى تؤكد أن نطاق الأراضى المتجمدة *Frozen grounds* كان أوسع مساحة وامتداداً فى العروض المعتدلة والباردة عن مساحتها اليوم .

(د) عثور بعض الباحثين على بقايا حيوانية ونباتية مترسبة ومنطمرة فى التكوينات الإرسابية الجليدية تدل على حدوث ذبذبات مناخية تتمثل فى تعاقب فترات جليدية باردة وأخرى غير جليدية دفيئة .

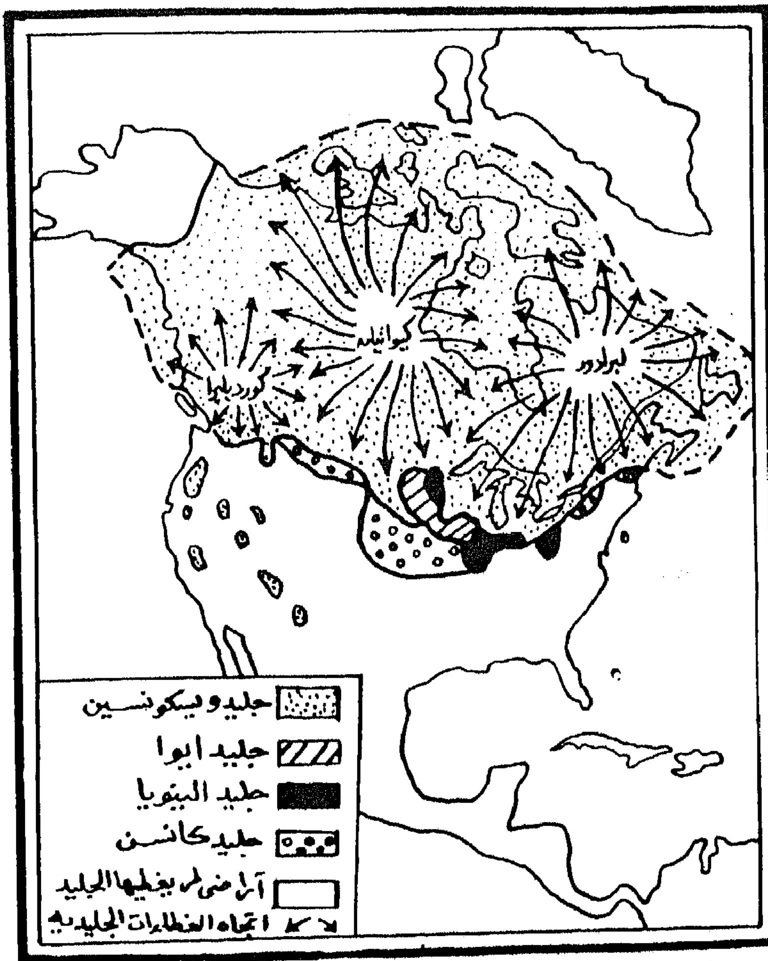
وتنبغى الاشارة إلى أن معلوماتنا عن كمية التساقط *Precipitation* خلال العصر الجليدى تعد محدودة جداً . ويعتمد الباحثون لمعرفة ذلك على دراسة التوزيع الجغرافى السابق للبحيرات ومدرجاتها فى العروض شبه المدارية كما هو الحال فى جنوب غرب الولايات المتحدة وشمال أفريقيا . كذلك من دراسة التوزيع الجغرافى للأودية الجافة وشبه الجافة فى الصحارى الحارة الجافة اليوم ودراسة امتداداتها وأعماق أوديتها المحفورة رأسياً للاستدلال على حجم مياه الأمطار التى كانت تسقط خلال الفترات المطيرة فى المناطق التى هى جافة اليوم . ومن المعروف أن بناء جسم الثلاجة *glacier* والغطاءات الجليدية *ice sheets* بأحجامها الكبرى التى كانت عليها خلال الفترات الجليدية من العصر الجليدى البلايوستوسينى يلزمه كميات هائلة من التساقط الثلجى وهى أضعاف حجم ما يتساقط منه اليوم . وهكذا يستخلص العلماء من دراسة هذه الأدلة بأن كمية التساقط خلال الفترات الجليدية فى العروض الباردة وخلال الفترات المطيرة فى العروض المدارية كانت أكبر بكثير من كمية التساقط السنوى اليوم عند نفس هذه العروض السابقة .

التوزيع الجغرافى لتكوينات العصر الجليدى البلايوستوسينى ومراحل حدوثها

يوضح شكل (١٢٨) الامتداد الأقصى *Maximum Extention* لتكوينات الغطاءات الجليدية البلايوستوسينية فى نصف الكرة الشمالى . وقدر العلماء أن هذه الغطاءات الأخيرة شغلت مساحة تبلغ نحو ٨ مليون ميل ٢ . وتتمثل نحو نصف هذه المساحة فى قارة أمريكا الشمالية حيث تشعع الجليد من ثلاثة مراكز رئيسة فى شمال القارة (شكل ١٢٩) . أما التكوينات الجليدية الأوربية ومكملاتها إلى الشرق من جبال أورال فقد غطت مساحة تبلغ نحو ٣ مليون ميل ٢ ، حيث كان الجليد يتشعع من مراكزه الرئيسة فى شمال القارة وشمال بحر الشمال . وإلى جانب هذه النطاقات الرئيسة كانت تتمثل بعض النطاقات الثانوية فوق كل من جانب الألب فى أوربا وجبال الهيملايا فى آسيا ، حيث



(شكل ١٢٨) «الامتداد الأقصى» للغطاءات الجليدية البلايوستوسينية فى نصف الكرة الشمالى



(شكل ١٢٩) الغطاءات الجليدية البلايوستوسينية فى قارة أمريكا الشمالية

تشععت منهما الغطاءات الجليدية إلى المناطق السهلية المجاورة . ويرجع العلماء بأن قلة انتشار الغطاءات الجليدية فى سيبريا يعزى إلى قلة التساقط من جهة ومناخ سيبريا القارى (ارتفاع درجة الحرارة فى الصيف القصير تعمل على انصهار الثلوج التى تتراكم شتاء) من جهة أخرى .

أما فى نصف الكرة الجنوبى فتتمثل المناطق التى تأثرت بالغطاءات الجليدية البلايوسينية فى أجزاء جزر نيوزيلند كما هو الحال فى هضبة كوسيسكو *Kosciusko plateau* ومعظم بقاع جزيرة تسمانيا ، وكذلك فى

أجزاء من هضبة بتاجونيا ، والنصف الجنوبى من شيلى . وقد كانت الغطاءات الجليدية فوق القارة القطبية الجنوبية أكثر سمكا عنها فى نصف الكرة الشمالى . كما اتضح أن معظم الأجزاء المرتفعة من أواسط أفريقيا قد تشكلت بالتعرية الجليدية البلايوستوسينية وقد كان منسوب خط الثلج الدائم خلال عصر البلايوستوسين أقل انخفاضا بنحو ٥٠٠٠ قدم مما هو عليه اليوم .

يتضح من هذا العرض أن أهم ما انتاب سطح الأرض خلال عصر البلايوستوسين هو حدوث الفترات الجليدية . فقد تميز هذا العصر بحدوث ذبذبات مناخية أدت إلى تكوين كل من الفترات الجليدية والدفيئة فى العروض العليا وتتزامن معها تتابع تكوين الفترات المطيرة والجافة فى العروض الوسطى . وعلى الرغم من أن جليد البلايوستوسين يعد أحدث العوامل الرئيسة التى شكلت مظهر سطح الأرض ، إلا أن دراسة هذه الفترة الأخيرة يقابلها صعوبات كثيرة ، حتى أصبح من الصعب تحديد مراحل تقدم الغطاءات الجليدية وتقهقرها وتعاقب ارساباتها فى المناطق المختلفة . ومما يزيد من صعوبة دراسة الظاهرات الجيومورفولوجية الناجمة خلال هذا العصر ، أن النطاقات الجليدية الحديثة العمر تعمل على ازالة وتغيير الظاهرات التى كونتها النطاقات الجليدية السابقة لها .

وقد اختلف الباحثون فى شأن عدد الفترات الجليدية البلايوستوسينية التى تعرضت لها مناطق العروض المعتدلة الباردة والباردة . فقد أكد بعض الباحثين أن العصر الجليدى يشتمل على أكثر من مرحلة جليدية ويفصل بين هذه المراحل فترات أخرى دفيئة نسبياً . وقد يزيد عدد هذه المراحل الجليدية عن ثلاث أو أربع مراحل مختلفة متعاقبة . ومن مؤيدى هذا الرأى جيكى *Geiki* (١) فى بريطانيا ، ورايت *C. F. Wrights* (٢) ، وآنتيف *Antevs* (٣)

---

(1) Geikie, J., "The great Ice Age" London, 1894.

(2) Wright. C. F., "The Ice Age in North American" Ohio, 1911.

(3) Antevs. E., "The Last Glaciation" Amer. Geog. Soc. Research Series., No. 17 (1928).

فى أمريكا ، وبينك وبروكنر *Penck and Brunckener* فى ألمانيا . ويعرف هذا الاتجاه باسم (أصحاب فكرة أكثر من فترة جليدية) *Multiglacial Approach* .

وقد رجح فئة محدودة من الباحثين رأيا آخرا مناقضا للرأى السابق ، ويتلخص فى أن العصر الجليدى تعرض لفترة جليدية واحدة كبرى . وقد أكد أصحاب هذا الرأى بأنه ليست هناك أدلة يقينية تثبت فعلا حدوث أى فترات دفيئة تفصل بين كل من الفترات الجليدية . ويطلق على هذا الاتجاه اسم (أصحاب فكرة الفترة الجليدية الواحدة خلال العصر الجليدى) *Monoglacial Appraoch* ومن أظهر أنصاره لامبلا *Lamplugh* (١) ، وكارازر *Carruthers* (٢) ورايستريك *Raistrick* (٣) فى بريطانيا .

ويتفق العلماء على أن عصر البلايوستوسين تعرض لذبذبات مناخية متلاحقة ، أدت إلى تكوين فترات جليدية تميز المناخ فيها بشدة البرودة ، وتفصل بين كل فترة وأخرى فترة غير جليدية دفيئة نسبيا . وعملت الكتل الجليدية لهذه النطاقات المختلفة على تغطية الأراضى المنخفضة وتسوية تضاريسها وتشكيلها بظاهرات لم تكن تتميز بها تلك المناطق من قبل . ومن دراسة التوزيع الجغرافى للرواسب الجليدية *Glacial Deposits or Drifts* ، أمكن معرفة الاتجاه الذى أتى منه الجليد ، والمناطق المختلف التى أرسب فيها ركاماته النهائية .

وقد تعرضت الغطاءات الجليدية خلال الفترات الدفيئة للانصهار تبعا

---

(1) Lomplugh, G. W., "On the British Drifts.." Naturalist, (1906) 307 - 317.
(2) Carruthers, R. G., "The Secret of the Glacial Drifts", Proc York. Geol. Soc. vol. 26 (1947).
(3) Raistrick, A., "Late Glacial and Post-glacial time in Yorkshire" Naturalist (1951), 1 - 5.

لارتفاع درجة الحرارة نسبيا ، ومن ثم نشط فعل انسياب مياه الجليد المنصهرة والتى يطلق عليها اسم *Nivation* ، وكان لها أكبر الأثر فى تسوية مظهر سطح الأرض وتشكيله خاصة فى العروض المعتدلة خلال عصر البلايوستوسين . وتتمثل أهم دلائل الفترات الدفيئة فى رواسب الكهوف وحصباء الأودية *Valley-Gravels* التى قد تحتوى على بعض حفريات من تلك الكائنات التى تعيش عادة فى ظروف مناخية دفيئة .

وتجدر الاشارة إلى أن النطاقات الجليدية لم تغط كل أجزاء سطح الأرض فى العروض الباردة أثناء عصر البلايوستوسين ، بل إنه تبعا لسمك الكتل الجليدية عملت الأخيرة على تغطية المناطق السهلية المنخفضة المنسوب بينما كانت الأراضى العليا من المناطق الجبلية المرتفعة ، دائما أعلى من منسوب سطح الكتل الجليدية نفسها . ويطلق على تلك المناطق التى لم يغطها الجليد سواء أكانت داخل نطاق الكتل الجليدية أو تقع بجوار الأطراف الهامشية لهذا النطاق وراء الركامات النهائية، اسم المناطق شبه الجليدية *Periglcial Regions* . وتميزت هذه المناطق الأخيرة بمناخ شديد البرودة خلال فصل الشتاء الطويل ثم كانت تتعرض لمناخ دفئ نسبيا خلال فصل الصيف القصير، وعلى ذلك تشكل سطح الأرض فيها بفعل التجمد الطويل خلال الفصل البارد ، ثم بفعل الانصهار السريع خلال فصل الصيف . ففى خلال الفصل البارد تجمع الثلج فى المقعرات الجبلية وفى بطون الأودية كما تجمع كذلك فى فتحات الشقوق والفوالق الصخرية ، ثم تعرض هذا الثلج لفعل الانصهار السريع خلال الفصل الدفئ . ونجم عن توالى عمليات التجمد و الانصهار *Freeze and Thaw action* ، تمييز هذه المناطق بظاهرات جيومورفولوجية

(1) a - Abou-el-Enin H. S., "Some periglacially modified Surface forms.." Geog. Soc. Univ. Sheffield (1962), 2 - 5.

b - Abou-el-Enin H. S., "The geomorphology of the Moss Valley,.. with a consideration of its wider regional significance" M. A. Thesis Univ. Sheffield (1962).

خاصة أطلق عليها تعبير ظاهرات شبه جليدية (١) *Periglacial Features* ، وتقسم هذه الظاهرات عادة حسب نشأتها إلى :

(أ) ظاهرات متأثرة بالتركيب الصخرى : اتساع فتحات الشقوق *Open-Joints* والثنيات الصخرية *Superficial Folds* المحدبة الظاهرية والجيوب والأسافين أو الفتحات الطولية فى التربة *Involution*

(ب) ظاهرات ناتجة عن فعل التعرية : الأودية الجافة بواسطة فعل انصهار الثلج *Nivation* ورؤوس الأودية الواسعة *Dellens* والفجوات المقعرة فى الحافات الصخرية *Coombes* والتلال الانفرادية المستديرة *Rounded Knobs* والشواهد والتلال الصخرية المنعزلة *Tors* (١) .

(ج) ظاهرات ناشئة عن فعل تحرك الرواسب وصخور سطح الأرض وانزلاقها وتساقطها وتشمل : زحف الكتل الصخرية وزحف المفتتات الصخرية المشحونة بالمياه *Solifluction* وتكوين الحقول الحصوية الصخرية *Boulder-Fields* والانزلاقات الأرضية *Land slides* وتساقط كتل الصخور *Rock Fall* .

(د) ظاهرات ناشئة بفعل الارساب : الفرشات والتلال الرملية الساحلية *Cover - Sand* وتربة اللويس *Loess* .

وتعد أهم العوامل التى ساهمت فى تكوين هذه الظاهرات الجيومورفولوجية المختلفة وتشكيلها تحت تلك الظروف المناخية السابقة ما يلى :

(أ) تتابع فعل التجمد والانصهار *Frost Action* .

(ب) أثر فعل المياه المنصهرة من تحت الثلج المتراكم فوق المنحدرات *Nivation* .

---

(١) للدراسة التفصيلية عن المناطق شبه الجليدية راجع :

Abou-el-Enin H. S., "An examination of surface forms, with a special refence to the Quaternary Era" Ph. D. Thesis, Univ. Sheffiel, 1964

Abou-el-Enin H. S., "Essays on the geomor phology of the Lebanon) Beirut Arab Univ. (1973).

(جـ) أثر فعل الرياح الشديدة فى الفترات الجافة فى عصر البلايوستوسين *Wind Action* .

وحيث غطت تكوينات الجليد البلايوستوسينى مناطق واسعة فى كل من أوربا وشمال أمريكا الشمالية ، فإن دراسات الخصائص الجيومورفولوجية لهذا العصر تركزت حول هذه المناطق السابقة وقد بذل العلماء محاولات جادة للربط بين هذه المرحل وتجديد مدى التوافق أو التشابه بين بعضها والبعض الآخر .

التوزيع الجغرافى للأراضى الجليدية البلايوستوسينية فى العالم

Glaciated Terrains

يطلق مصطلح «الأراضى الجليدية» على تلك الأراضى التى سبق أن غطيت بالجليد خلال العصر الجليدى البلايوستوسينى والذى ترك فيها دلالاته ومؤثراته فى تشكيل المظهر الجيومورفولوجى لهذه الأراضى . وتتألف هذه الأراضى الجليدية من جبال مضرسة وسهول واسعة الامتداد وأودية وحواجز جبلية وهضاب وقمم جبلية سبق لها جميعا أن غطيت وتشكلت بفعل الجليد البلايوستوسينى . أما الأراضى التى تتغطى بالتكوينات الجليدية فى الوقت الحاضر مثل أراضى جرينلند والقارة القطبية الجنوبية فيطلق عليها تعبير «الأراضى المغطاة بالجليد الحالى» *Glacierized Terrains* .

وحيث تنساب ثلاجات الأودية الجبلية فى كثير من الأحيان صوب الأراضى المنخفضة المنسوب المجاورة لها ، أو قد تنساب على شكل ثلاجات تحت أقدام الجبال *Piedmont Glaciers* فإنه يصعب تحديد الخط الفاصل بين كل من الأراضى الجبلية الجليدية والأراضى السهلية الجليدية ، غير أن كلا من هذه الأراضى تتشكل بظاهرات جيومورفوجليدية *Geomorphoglaciated Features* مميزة .

فالأراضى الجبلية الجليدية *Glaciated Uplands* التى سبق أن غطيت

بالجليد البلايوستوسينى تتشكل بظاهرات مميزة منها القمم الجبلية الجليدية القرنيـة أو الهرميـة الشكل *Glacial horns* ، والحلبـات الجليـدية *Corries-Cums-Cirques, Neves, Firns, Nivation hollows* والحواجز الجبلية الشديدة التضرس المشرشرة الحواف والفاصلة بين جوانب الحلبات الجليدية *Aretes* ، والأودية الجليدية المعلقة *Glaciated hanging valleys* ، والأودية الجليدية *Glaciated Valleys* .

أما الأراضى الجليدية المنخفضة المنسوب المستوية السطح *Glaciated Lowlands* والتى سبق أن غطيت بالجليد البلايوستوسينى ثم تراجع هذا الجليد وتلاشى تماماً عنها ، فإن الرواسب الجليدية *Glacial drift or Tilt or boulder day* تظهر على شكل ظاهرات ارسابية جليدية ، وجليدية نهرية *Fluvio-glaciated Features* متعددة ، وتشكل جميعها المظهر الجيومورفولوجى العام لهذه المنطقة السهلية الجليدية . ومن بين هذه الظاهرات أكوام وفرشات الركامات الجليدية ، بأشكالها المختلفة *Moraines* وحواجز الأسكرز *Eskers* ومدرجات الكام *Cam Terraces* والكثبان الجليدية *Drumlines* .

ويستعين الباحثون عند تحديد أبعاد الأراضى الجليدية والتى سبق أن غطيت بالجليد البلايوستوسينى بالأدلة الجيومورفولوجية التى تؤكد تشكيل مثل هذه الأراضى بفعل الجليد على الرغم من أنها لا تتعرض لأية غطاءات أو تكوينات جليدية فى الوقت الحاضر . ومن بين هذه الأدلة ما يلى :

(أ) تخطيط أسطح صخور المنطقة ومفتتاتها الارسابية بالحزوز الصخرية المثلمة *Striae* . ولا يحز الصخر أو أسطح المفتتات بمثل هذه الحزوز إلا بفعل الجليد ، ومن ثم فإن الاتجاه العام للحزوز الصخرية المميزة فوق أسطح الصخور تدل فى نفس الوقت على الاتجاه الذى أتت منه الغطاءات والتكوينات الجليدية القديمة .

(ب) انتشار المفتتات الصخرية بأحجام متباينة فوق سطح الأرض وأنها لا

تنتمى من حيث التكوين اللثولوجى لأنواع الصخور المحلية للمنطقة التى وجدت فيها ، بل ترجع إلى تكوينات صخرية تقع بعيداً عن مناطق ترسبها فإن دل هذا على شئ فإنما يدل على أن هذه المفتتات قد نقلت لمسافات طويلة . ولما كانت أسطح هذه المفتتات تتشكل بالحزوز الصخرية من ناحية وإن بعضاً من هذه المفتتات كبير الحجم جداً بحيث يصعب نقله بفعل الرياح أو المجارى المائية أو حتى البحر من ناحية أخرى ، فمن السهل أن نستنتج بأن مثل هذه المفتتات والكتل الصخرية الكبيرة الحجم قد نقلت بفعل الجليد . ومن ثم يطلق على هذه المفتتات الارسابية الجليدية الغريبة عن الصخور المحلية لمناطق ترسبها تعبير المفتتات أو الكتل الضالة *Erratic Blocks and Fragments* .

وتتميز الرواسب الجليدية *Glacial drifts* بأنها تتألف من مفتتات صخرية غير طباقية وغير منسقة الترسيب *unsorted* ، ومتنوعة الحجم والشكل ، ومقشوطة الأسطح وحادة الحواف ، وتظهر الحزوز الخطية على معظم أسطحها ، وتتألف من مفتتات صلصالية *Clay* ورملية *Sands* وحصوية *Gravels* ومن حصى كبير الحجم *Cobblestones and Boulders* وتكونت كل هذه المفتتات الارسابية بفعل التعرية الجليدية والتجوية الطبيعية ولم تؤثر فيها التجوية الكيميائية .

(جـ) شكل التصريف النهرى الشاذ الذى لا ينسجم مع نظام البناء الجيولوجى للتكوينات الصخرية التى يتكون فوقها . فقد يتميز القسم الأعلى من حوض النهر مثلا (مثل حوض نهر سنت لورنس) بكثرة انتشار البحيرات الواسعة المساحة ، وبالسهول المترامية الأطراف ، وذلك بخلاف ما يتمثل عادة فى الحوض الأعلى للنهر المثالى أو النموذجى *Ideal Stream* من خوانق نهرية عميقة جدا ، وشدة سرعة جريان مجرى النهرى وشدة انحداره ، ومن ثم يتبين أن مثل هذا النمط من التصريف المائى الشاذ فى الأحواض العليا للأنهار إنما تكون بفعل الجليد البلايوستوسينى .

وتسهم المياه المنصهرة من الجليد فى تكوين البحيرات (مثل البحيرات الجليدية فى فنلنده) وتكوين التصريف النهرى المشوش ، حيث تنساب المياه المنصهرة فى مجارى نهرية ضحلة العمق وضعيفة الانحدار وبطيئة التيار ، ومن ثم تترنح المجارى من جانب إلى آخر ويكثر فيها المنعطفات وتنتشر فى أرضيتها السبخات والمستنقعات . وعندما تنصهر التكوينات الجليدية الواقعة فوق الحافات الصخرية وتتصل بالمجارى النهرية فقد تتكون هنا الشلالات العالية مثل شلالات نياجارا *Niagara Falls* التى تبدو على شكل نعل الفرس *Horse Shoe* وتقع فى مجرى سنت لورنس على الحدود بين كندا والولايات المتحدة الأمريكية . وعند ارتفاع منسوب المياه فى البحيرات الجليدية ، تنساب المياه فوق الأراضى والحواجز الجبلية المجاورة لها وتكون لنفسها مخارج بحيرية تنساب المياه منها وتتصرف إلى الأودية النهرية المجاورة لها . أما إذا انخفض منسوب المياه فى هذه البحيرات مرة أخرى ، فتصبح هذه المخارج البحيرية المتعمقة ذات الجوانب الشديدة الانحدار خالية من المياه الجارية ، ومن ثم تدل على أنها كانت يوماً عبارة عن حلقة اتصال بين البحيرات الجليدية والمجارى النهرية المجاورة لها .

(د) انتشار الأحواض *Basins* والحفر العميقة فوق سطح الأرض خاصة بالمناطق السهلية ، ويتراوح عمق هذه الأحواض والحفر من ٤ - ٢٠ متراً كما أنها تمتلئ بالرواسب تماماً ، وإن هذه الرواسب بدورها غير متجانسة حجماً وشكلاً ونوعاً ولا تنتمى ليثولوجيا إلى الصخور الأصلية للمنطقة . وكل هذا يدل على أن هذه الأحواض والحفر العميقة غطيت بالغطاءات الجليدية البلايوستوسينية وعند تراجع الجليد امتلأت هذه الأحواض بالرواسب الجليدية .

(هـ) انتشار مقدمات أراضى ما بين الأودية المقشوطة الأطراف *Truncated Spurs* . ففى حالة الوادى النهرى تتداخل هذه الأراضى فيما بينها كما تتداخل التروس فى بعضها البعض الآخر *interlocking Spurs* ، إلا أن

الجليد يعمل على قشط الأطراف البارزة المتداخلة من أراضى ما بين الأودية عند حفر واديه المستقيم الامتداد ، ومن ثم تتكون مثل هذه الظاهرة المميزة للوادى الجليدى .

(و) انتشار الأراضى الواسعة الامتداد والتى تتشكل بظاهرات جيومورفولوجية متعددة لا يمكن أن تتكون إلا بفعل الجليد أو بفعل التعرية الجليدية النهرية *Fluvioglacial action* ، ومن بين أمثلة ذلك ، على سبيل المثال وليس الحصر ، الركامات الجليدية بأنواعها المختلفة والصخور الغنيمة الشكل *Rochè Moutannee* ، والكثبان الجليدية *Drumlins* ورواسب حواجز الاسكرز *Eskers* ومدرجات الكام *Cam* وحيث لا تتغطى هذه الأراضى بالجليد اليوم ، فإنه يمكن أن نستنتج بأنها كانت مغطاة بالجليد البلايوستوسينى .

(ز) تكوين الأودية الجبلية التى تبدو قطاعاتها العرضية على شكل حرف *U* وذات القطاع الطولى غير المنتظم والجوانب الحائطية الشكل ، ومثل هذه الأودية لا تتكون إلا بفعل الجليد . وتتمثل المنابع العليا لهذه الأودية الجليدية الجبلية فى المقعرات الجبلية العميقة التى تعرف بإسم الحلبات الجليدية .

أما أظهر المناطق التى غطيت بالجليد *Glacited Terrains* خلال العصر الجليدى فى العالم ، فهى تتمثل فى القسم الشمالى الغربى من أوربا ، ومرتفعات الألب الأوربية والقسم الشمالى من أمريكا الشمالية ، وفى بعض أجزاء محدودة من شمال غرب سيبريا وشمالها الشرقى .

التوزيع الجغرافى للغطاءات الجليدية البلايوستوسينية فى العالم

أولا : العصر الجليدى فى أوربا

١ - فى الجزر البريطانية :

غطى جليد البلايوستوسين مساحات واسعة من شمال قارة أوربا وأواسطها وترك فى كل المناطق التى مرت فوقها غطاءاته بعضا من آثاره ومعالمه . ومن أهم المناطق الأوربية التى تأثرت به هى الجزر البريطانية حيث يكاد يتمثل فيها كل مراحل العصر الجليدى وفتراته المختلفة . وعلى الرغم من أن صخور الجزر البريطانية تتألف من أنواع متباينة من الطبقات الصخرية التى ترجع نشأتها إلى أزمنة جيولوجية مختلفة أقدمها صخور زمن ما قبل الأركى، إلا أن أكثر من ثلاثة أرباع سطح الجزر البريطانية تشكلت بواسطة أثر فعل الجليد خلال عصر البلايوستوسين . ومن دراسة خصائص الطفل الجليدى *Glacial drifts* وتركيبه الصخرى تبين أن أهم الاتجاهات التى أتت الغطاءات الجليدية عن طريقها إلى الجزر البريطانية تتمثل فى الآتى :

(أ) الغطاءات الجليدية الشرقية الاسكندنافية وتنتشر رواسبها فى سهول شرق انجلترا .

(ب) الغطاءات الجليدية الشمالية ، حيث تشعبت الغطاءات الجليدية من مرتفعات جرامبيان (اسكتلندا) ومرتفعات «ليك ديستريكت *Lake District*» ، وتنتشر رواسب هذه الغطاءات فى كل من سهول اسكتلندا وغرب يوركشير وشمال كل من ويلز وايرلند .

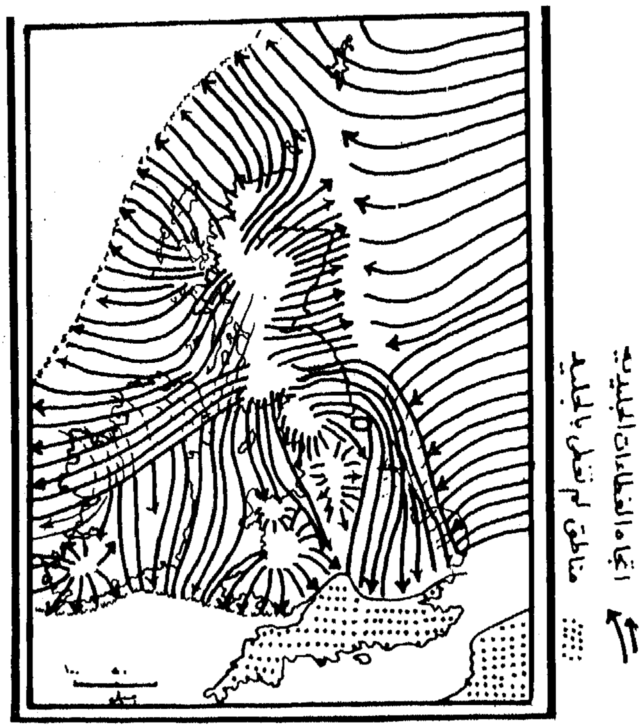
(ج) الغطاءات الجليدية الجنوبية ، وتركزت فى مرتفعات البنين الجنوبية ومرتفعات ويلز ، وتشعبت رواسبها إلى الأراضى السهلية المجاورة (١) .

(1) Abou-el-Enin, H., "Glacial and associated features in South west Yorkshire" Bull. Fac. Arts. Alex. Univ. (1966), 17 - 33.

(د) الغطاءات الجليدية الايرلندية ، حيث تركز الجليد فى شمال ايرلند وانساب إلى المناطق السهلية الجنوبية .

أما معظم وادى التيمز والأجزاء الجنوبية من انجلترا بما فيها شبه جزيرة كورنول فلم تغط بالجليد خلال أى من فترات الجليد البلايوستوسيلى ، ومن ثم تعد هذه المناطق أراضى شبه جليدية *Periglacited Regions* ، تأثرت فقط خلال هذا العصر بالمناخ البارد (شكل ١٣٠) .

وقد أكدت نتائج دراسات الرواسب الجليدية فى الجزر البريطانية وأشكالها ومدى تعرضها لفعل التعرية بأنها تتبع فترات جليدية مختلفة . ولقد لاحظ زويلر عام ١٩٥٩ (١) عدة أدلة تثبت حدوث أربع فترات جليدية تفصل بينها



(شكل ١٣٠) الغطاءات الجليدية البلايوستوسينية فى الجزر البريطانية

(1) Zeuner, E. F., "The Pleistocene Period", London, 1959.

وادى الدن Don حسن أبو العينين (سنة ١٩٦٤)	منطقة ليدز ادوارد وآخرون (سنة ١٩٥٠)	شرق أنجلترا ويست (سنة ١٩٦٠)	تصنيف مراحل البلايوستوسين حسب زوينر (سنة ١٩٥٩)
تكوين كل من : السهل الفيضى - اللبد النباتى - المخروطات الارسابية الفيضية - زحف التربة - الانزلاقات الأرضية - الخوانق النهرية - مدرج ماكيلدن - مدرج أتير كليف .	تكوين السهل الفيضى - اللبد النباتى - تعرية مدرج ٢٥ قدم	عصر ما بعد الجليد	عصر ما بعد الجليد Post-Glacial
فترة شبه جليدية Periglacial تكوين زحف التربة - الانزلاقات الأرضية الشديدة - الأودية الجافة - التلال المنعزلة الصخرية - مدرج هولم لى .	الارسابات الجليدية الحديثة Newer Drift	فترة جليد (هانستانتن الأخيرة Hunstanton Gl.	فيرم Last Glaciation الفترة الجليدية الأخيرة
فترة ازداد خلالها فعل عوامل التعرية الهوائية	الفترة الجليدية الكبرى .	فترة ابسويتش غير الجليدية Ipswician	الفترة غير الجليدية الأخيرة

ارسابات جليدية قديمة تشغل الأطراف الشرقية لوادى الدن .	جليد ايسترن ـ الارسابات الجليدية القديمة Older Drift	فترة جليد جريبنج Gripping	رس Penultimate Gl. فترة جليد بانالميت
لم يعثر على أدلة يقينية فى المنطقة ترمز إلى أى فترات جليدية أخرى .		فترة غير جليدية	فترة بانالتميت غير الجليدية
		فترة جليد لوستوفت Lawestoft Gl.	Ante-penultimate G. I. مندل فترة جليد أنتى بانالتميت
		فترة غير جليدية	فترة أنتى بانالتميت غير الجليدية
		فترة جليد بوتيليان Butleyan Gl.	جينز الفترة الجليدية الأولية Early Glaciation

(جدول رقم ٤) مراحل حدوث الفترات الجليدية البلايوستوسينية فى بعض أجزاء من الجزر البريطانية

فترات أخرى غير جليدية ، وقد أطلق زوينر على الفترات الجليدية من الأحدث إلى الأقدم ما يلى :

(أ) الفترة الجليدية الأخيرة *Last Glaciation* وتقابل فتر «الفيوم» فى جبال الألب .

(ب) فترة جليد بانالتميت (فترة ما قبل الفترة الأخيرة) *Penultimate Glaciation* وتقابل فترة «الريس» فى جبال الألب .

(جـ) فترة جليد أنتى بنالتميت *Ante-Penultimate Glaciation* وتقابل فترة «المندل» فى جبال الألب .

(د) الفترة الجليدية الأولية *Early Glaciation* وتقابل فترة «الجيبنز» فى جبال الألب .

وقد أكد الأستاذ ويست *West* عام ١٩٦١ (١) ، حدوث نفس هذه المراحل فى شرق انجلترا (جدول ٤) .

أما فى أواسط انجلترا فقد أكدت الدراسات حدوث الفترتين الجليديتين وهما فترتا الريس والفيرم فى جبال الألب . وقد أطلق ادوارد عام ١٩٥٠ (٢) على الفترة الجليدية القديمة اسم جليد ايسترن *Eastern Elaciation* أو الارسابات الجليدية القديمة *Older Drift* ، أما الفترة الجليدية الحديث فأسماها فترة جليد «دال» *Main Dales Glaciation* أو الارسابات الجليدية الحديثة *Newer Drift* .

وقد أكد الكاتب عام ١٩٦٤ (٣) أن المرتفعات الجنوبية الشرقية لجبال البنين

---

(1) West, R. G., "The Ice Age", Adv. Sci. vol. 17 (1960) 428 - 440.

(2) Edwards, et al "Geology of the district northeast of Leeds: Mem. Geol. Survey (1951), London.

(3) Abou-el-Enin, H., "An examination of the evolution of surfce forms..." Ph. D. Thesis, Univ, Sheffield (1964).

خاصة فى حوض نهر الدن *Don* ، لم تتعرض لفترة جليد الفيرم *Wurm* الأخيرة ، بل تشكلت أثناء هذه الفترة ، بالمناخ البارد ونجم عن ذلك تكوين ظاهرات شبه جليدية . ويوضح الجدول السابق مراحل الفترات الجليدية البلايوستوسينية ، فى بعض أجزاء من الجزر البريطانية ومدى توافق هذه المراحل بين كل إقليم وآخر .

٢ - فى جبال الألب :

أكد كل من بينك وبروكنر (١) حدوث أربع فترات جليدية تفصل بين كل منها فترة أخرى غير جليدية ، وتبعا لمدى تأثر رواسب هذه الفترات المختلفة بفعل التجوية أمكن كذلك معرفة العمر التقريبى لكل منها . ويوضح الجدول التالى الفترات الجليدية وغير الجليدية فى جبال الألب وتحديد الأطوال الزمنية النسبية للفترات الدفيئة التى تفصل الأخرى الجليدية بعضها عن البعض الآخر .

الفترات الجليدية	الفترات غير الجليدية	العمر التقريبى (بالسنوات)
٤ - فيرم	ما بعد الفيرم	٢٥,٠٠٠
٣ - ريس	ريس - فيرم	٧٥,٠٠٠
٢ - مندل	مندل - ريس	٣٠٠,٠٠٠
١ - جينز	جينز - مندل	٧٥,٠٠٠

ويتضح من هذا الجدول كذلك أن الفترة غير الجليدية الوسطى (مندل - ريس) ، تعد أطول الفترات غير الجليدية ، وتقسم هذه الفترة ، العصر الجليدى البلايوستوسينى إلى قسمين كبيرين هما الفترة القديمة ويقصد بها مرحلتى

(1) Penck, A, and Bruckner. E., "Die Alpen im Eiszeitalter". 3 vol. Le ipzig 1909.

جليد الجينز والمندل ، والفترة الحديثة وترمز إلى مرحلتى جليد الريس والفيرم.

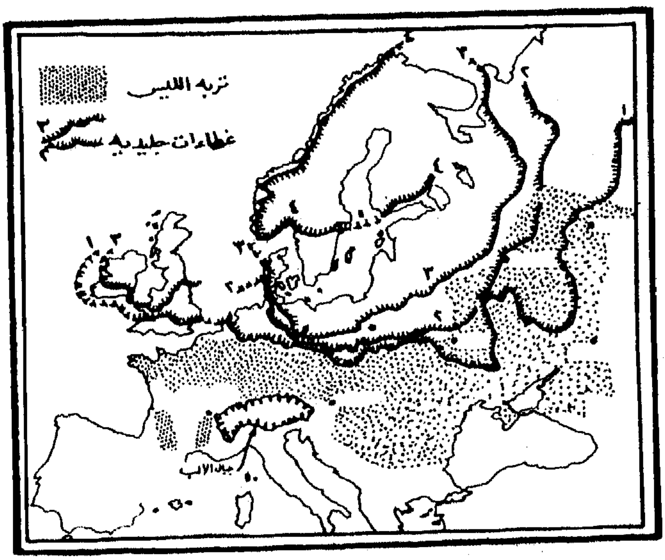
وتكاد تتفق المراحل الجليدية فى جبال الألب مع تلك التى حدثت فى شمال ألمانيا كذلك . وقد أجمع الباحثون على حدوث أربع فترات جليدية متعاقبة خلال عصر البلايوستوسين نجم عنها تكوين ركامات مختلفة لكل منها تشمل من الأقدم إلى الأحدث ما يلى :

ألستر *Elster* ـ سال *Saale* ـ فلمنج *Flaming* ـ فيشل *Weichsel* (شكل ١٣١) .

وقد أجريت عدة أبحاث مختلفة لدراسة مراحل العصر الجليدى فى قارة أمريكا الشمالية ، والربط بينها وبين تلك فى قارة أوربا ، ومن ثم يحسن أن نشير كذلك إلى تطور فترات هذا العصر فى قارة أمريكا الشمالية .

ثانيا : العصر الجليدى فى أمريكا الشمالية :

تعرضت قارة أمريكا الشمالية خلال عصر البلايوستوسين إلى فعل الغطاءات الجليدية الكبرى . ومن بين أظهر الباحثين الذين اهتموا بدراسة



(شكل ١٣١) الركامات الجليدية البلايوستوسينية فى أوربا

هذه الغطاءات رايت *G. F. Wright* (١) وشمبيرلين وساليسبرى (٢) وكولمان *Coleman* ، وأنتيف *Antevs* (٣) .

وقد أكدت نتائج دراسات هؤلاء جميعهم على أن هذه القارة تعرضت إلى أكثر من فترة جليدية خلال عصر البلايوستوسين وكان يفصل بين كل فترة جليدية وأخرى ، فترة غير جليدية تميزت بالدفء نسبيا . وعثر على أدلة هذه الفترات الدفيئة فى رواسب الكهوف والطبقات الارسابية الدفيئة الغنية بحفرياتها ، ومن دراسة قطاعات التربة التى تأثرت بفعل التجوية *Deep Weathered Soil* . ويطلق على قطاعات التربة التى تأثرت بالتغيرات المناخية البلايوستوسينية اسم *Gumbotil* وتتألف التربة الجليدية من تلك الرواسب الجليدية المعروفة باسم «الطفل الجليدى *Boulder-Clay*» . وقد يغلب الفلينت على تكوينات هذه التربة ومن ثم يطلق عليها تعبير رواسب الطفل الجليدى الفلنتية *Flinty Boulder-Clay* أو الطباشير وفى هذه الحال يطلق عليها تعبير رواسب الطفل الجليدى الطباشيرى *Chalky Boulder - Clay* .

وتتلخص كل من الفترات الجليدية وغير الجليدية البلايوستوسينية التى تعرضت لها قارة أمريكا الشمالية فيما يلى :

الفترات الجليدية		الفترات الجليدية	
٥ – ويسكونسين	Wisconsin { أ – الأولى، ب – المتوسطة، جـ – الأخيرة }	ما بعد ويسكونين	
٤ – ايوا	Iowan Gl	بيوريان	Peorian
٣ – الينويان	I llinoian Gl	سانجامون	Sangamon
٢ – كانسن	Kansan Gl.	يارموث	Yarmouth
١ – نبراسكا	Nebraskan Gl.	أفتونيان	Aftonian

(1) Wright, C. F., "The Ice Age". 1911.
(2) Chamberlin, T. C., Salisbury R. S. "Geolgy" London, 1959.
(3) Antevs, E., "Correlation of Wisconsin glacial maxima" Amer. Jour. Sci. 243 (1945), 1 - 39.

وحيث إن الفترة الجليدية الأخيرة المعروفة باسم ويسكونسين فى أمريكا الشمالية تعتبر أحدث الفترات الجليدية لذا تتميز رواسبها بكونها ظاهرة واضحة إذا ما قورنت بظاهرات سطح الأرض الأخرى . كما لم تتعرض هذه الرواسب لفعل التعرية بشكل واضح ومن ثم تبدو بعض هذه الرواسب بنفس الصورة التى نشأت عليها من قبل وأطلق عليها تعبير «رواسب غضة *Fresh*» وتشبه فى هذه الحالة رواسب الفيشال *Weichsel Gl.* فى أوربا والرواسب الجليدية الحديثة *Newer Drift* فى انجلترا .

ويلاحظ أن كلا من الغطاءات الجليدية الخاصة بمراحل نبراسكا ، وكانسن ، والينويان ، تتميز كلها بغطاءات واسعة الامتداد من الرواسب الجليدية ، وتشكلت الأجزاء العليا من التربة بأثر حدوث الذبذبات المناخية المختلفة . وفى بعض المواقع تتغطى ارسابات هذه الفترة بفرشات من تربة اللويس الحديثة *Loess* التى تتبع فترة بيوريان *Peorian* غير الجليدية . وحيث إن رواسب هذه الفترة غير الجليدية الأخيرة ورواسب تربة اللويس التى تكونت أثناءها تعرضت لفعل عوامل التعرية فى بعض أجزائها ، ثم غطيت بارسابات فترة ويسكونسين الجليدية التى أعقبتها فى بعض الأجزاء الأخرى ، على ذلك رجح كل من الأستاذ كاى *Kay* عام ١٩٢٨ وفالدشتيد *Woldstedt* عام ١٩٣٠ ، أن فترة جليد أيوا *Iowan Gl.* ، ما هى الا بداية لفترة جليد ويسكونسين الكبرى . وقد اعترض بعض الباحثين على هذا الرأى السابق واعتبروا أن فترة ايوا تعد فترة ثانوية قد تتبع المرحلة التى سبقتها وهى فترة جليد إلينويان ، وليست الفترة التى أ عقبتها (ويسكونسين) .

وقد أجرى الباحث الأمريكى لافريت *Laverett* (١) دراسات تفصيلية فى جبال الألب عام ١٩١٥ ، ثم حاول أن يربط بين الفترات الجليدية البلايوستوسينية الأمريكية بتلك فى أوربا ، وقد رجح التوافق والتشابه بين

(1) Leverett. F. and Toyler, F. B. "History of the Great Lakes" Unit. States Geol, Surv. vol 35 (1915).

الفترات التالية :

فترات الجليد فى جبال الالب وأواسط أوربا		فترات الجليد فى أمريكا الشمالية
الفيرم	←	ويسكونسين
المندل	←	كانسن
الجينز	←	نبراسكا

وقد رجح لافيريت كذلك أن فترة تكوين الطفّل الجليدى الأسفل فى شمال ألمانيا والمعروفة بفترة ألستر *Elster* فترة الجينز فى جبال الألب ونبراسكا فى أمريكا الشمالية . وقد اعتقد أن فترة جليد الفايشيل *Weichsel* فى شمال ألمانيا تطابق مرحلة ويسكونسين فى أمريكا .

وقام الباحث الألمانى فالشتيد *Woldstedt* عام ١٩٣٠ باجراء أبحاث حقلية فى الغطاءات الجليدية البلايوستوسينية فى القارة الأمريكية حتى يتمكن هو الآخر التحقق من آراء لافيريت السابقة . وقد أجمع معظم الكتاب على قبول نتائج دراسات هذا الباحث والتى تتلخص فيما يلى :

١ - تطابق فترتا ويسكونسين الوسطى ، والعليا فى أمريكا كلا من فترتى الفيرم *Wurm* فى جبال الألب والفيشيل فى شمال ألمانيا . بينما تعد فترة ويسكونسين السفلى أقدم نسبيا من فترة الفيشيل .

٢ - تطابق فترة أيوا الجليدية فى أمريكا فترة الوراثة *Warthe Phase* فى شمال ألمانيا .

٣ - تطابق فترة جليد الينويان فى أمريكا فترة السال *Saale* أو الريس *Riss* .

٤ - لا توجد أدلة يقينية يمكن أن تدل على مدى التطابق بين فترتى كانسن ونبراسكا الجليديتين فى أمريكا بغيرها من الفترات الجليدية فى أوربا .

ومن دراسة رواسب الطفل الجليدى اتضح أن معظم أجزاء النصف الشمالى من قارة أمريكا الشمالية قد غطيت بواسطة ركامات العصر الجليدى

البلايوستوسينى وقد اتضح كذلك أن هذا الجليد تركز فى ثلاث مناطق رئيسة فى الشمال ومنها تشعع إلى المناطق السهلية الواقعة فى الجنوب . وتشمل هذه المراكز :

أ – المركز اللبرادورى *Labradorean* .

ب – المركز الكيواتيان *Keewatin* .

جـ – المركز الكورديليرى *Cordillerean* .

وقد اكتسح جليد لبرادور كل المناطق التى تقع فى شمال شرق القارة ، بينما تشعع جليد كيواتيان فى شمال الميسورى وبرارى كندا ، أما جليد كورديليرا فقد تركز فى مرتفعات كولمبيا (شكل ١٢٩) .

وحيث تعتبر فترة جليد نبراسكا أقدم الفترات الجليدية البلايوستوسينية ، فقد تعرضت ارساباتها لفعل التعرية الشديدة التى عملت على ازالتها ، وان وجدت بعض هذه الرواسب فإنها تقتصر على المناطق المرتفعة وفى بقاع متناثرة منعزلة كما هو الحال فى منطقة موبريدج *Mobridge* فى أواسط الميسورى . أما ارسابات فترة جليد كانسن التى أعقبت الفترة الجليدية الأولى ، فتتمثل على الجانب الشرقى لنهر الميسورى فيما بين مدينة بيسمارك *Bismark* شمالا ومدينة هورن *Huron* جنوبا . كما تنتشر بعض الرواسب الجليدية التابعة لهذه الفترة الجليدية فى الجزء الشمالى الغربى لولاية داكوتا خاصة عند التقاء الروافد العليا لنهر الميسورى فى منطقة ويلستون . وتعد رواسب فترة الينويان محدودة الانتشار ، وتتركز بوجه خاص إلى الجنوب من منطقة البحيرات والى الشمال من مدينة سانت لويس *St. Louis* الواقعة على نهر المسيسبى ، وفى منطقتى دايتون *Dayton* وأوهيو *Ohio* إلى الجنوب الغربى من بحيرة ايرى *Erie* . وتنحصر رواسب مرحلة جليد إيوا فوق السهول الهضبية التى تقع فيما بين بحيرتى سوبيريور شمالا وميتشجن فى الجنوب الشرقى . وتتمثل بعض الرواسب التابعة لهذه الفترة على جانب المسيسبى الأعلى فيما بين مينابوليس *Minneapolis* شمالا ودوبكيه *Dubuque* جنوبا .

وحيث إن رواسب فترة جليد ويسكونسين تعد أحدث هذه المجموعات من الرواسب ولم تتعرض لفعل التعرية مدة طويلة من الزمن فإن فرشات هذه الرواسب تتميز بامتدادها على شكل نطاقات غير متقطعة ، وأنها غضة *Fresh Deposits* ولم تنقسم أو تتفتت بفعل عوامل التعرية . ومن دراسة التوزيع الجغرافى للركامات النهائية التى تختص بفترة جليد ويسكونسين تبين أن الغطاءات الجليدية لهذه الفترة كانت تغطى النصف الشمالى من قارة أمريكا الشمالية فيما عدا المناطق الجبلية العليا من ألسكا والتى لم تستطع الغطاءات الجليدية الوصول إلى أراضيها المرتفعة . وقد امتدت الركامات النهائية جنوبا على شكل قوس هائل الحجم يمكن تتبعه من الغرب إلى الشرق حيث تنتشر الرواسب حول مدينة سيتل *Seattle* والأراضى المنخفضة فى وادى سنيك ، ثم تظهر الركامات فى المناطق الهضبية لأعالى الميسورى (أودية ميلك *Milk* ويللوستون *Yellowstone* وبودر *Powder*) . ثم تظهر الركامات النهائية لفترة الويسكونسين كذلك على الجانب الشرقى للميسورى الأوسط وإلى الجنوب من منطقة البحيرات . (شكل ١٢٩) . وتمثل بحيرتا ايرى وانتاريو ومجرى نهر سنت لورنس ، الحدود الهامشية الجنوبية الشرقية لهذه الغطاءات .

وتجدر الاشارة إلى أن عمل العصر الجليدى البلايوستوسينى فى تشكيل المظهر الجيومورفولوجى العام لسطح الأرض لم يقتصر على كل من المناطق المعتدلة والباردة والقطبية فى العالم فقط ، بل أثر كذلك فى جيومورفولوجية أجزاء واسعة من سطح الأرض فى العروض المدارية كذلك . فقد أثبتت الدراسات الباليونتولوجية ، والمناخية ، والتاريخية تعرض مناطق الصحارى الحارة الجافة خلال النصف الأخير من عصر البلايوستوسين لحدوث ذبذبات مناخية كبرى نجم عنها سقوط أمطار غزيرة خلال فترات متعاقبة أطلق عليها «الفترات المطيرة» ، وكان يفصل بعضها البعض فترات أخرى غير مطيرة أو شبه جافة . وعلى ذلك حاول بعض الكتاب الربط بين مراحل حدوث الفترات

المطيرة فى الصحارى الحارة الجافة وتلك الجليدية فى العروض الباردة . وقد سبق الحديث عن المظهر الجيومورفولوجى العام لسطح هذه الصحارى .

العصر الجليدى وأشكال التصريف النهرى :

تؤثر الأنهار الجليدية (الثلاجات) والغطاءات الجليدية فى أنماط التصريف النهرى بالمناطق التى انسابت إليها . ففى المناطق الجبلية المرتفعة يتجمع الجليد فى حقول الحلبات الجليدية ويخترق أودية ما قبل الجليد *Preglacial Valleys* ويعمل على تعميقها ونحت جوانبها وإتساع أرضيتها وتغيير امتداداتها ومن ثم إعادة تشكيل مظهرها الجيومورفولوجى . وعند انصهار الجليد فى بطون بعض أجزاء من هذه الأودية قد تنحبس المياه على شكل بحيرات طولية . ومن بين أظهر هذه البحيرات الأخيرة ما يتمثل منها فى مرتفعات اسكنديناوة وأعالى نهر الراين فى مرتفعات الألب . وعند انسياب الثلاجات من المناطق الجبلية ونزولها إلى المناطق السهلية المنخفضة المنسوب تسهم فى تكوين الغطاءات الجليدية . وقد تشكل الامتداد العام لبعض المجارى النهرية التى تقع عند هوامش الغطاءات الجليدية فى أواسط أوربا بنهايات هذه الغطاءات الجليدية . واستطاعت أجزاء كبيرة من هذه المجارى النهرية أن تحتفظ بمجاريها العرضية الامتداد حتى بعد انصهار الجليد وتراجعه شمالاً .

وتتكرر نفس هذه الصورة فى قارة أمريكا الشمالية حيث يعزى الامتداد العرضى لنهر أوهيو إلى الشرق من مدينة سينسيناتى إلى تأثير امتداد الغطاءات الجليدية . وقد أوضحت الدراسات الجيومورفولوجية بأن للامتداد السابق لبعض أنهار ما قبل *Preglacial Valleys* وامتدادات الأنهار الجليدية التى تكونت مع تقدم الغطاءات الجليدية ، إلى جانب تجمع الرواسب الجليدية على شكل ركامات سدية هائلة الحجم كان لها جميعاً الأثر الكبير فى تشكيل نظام التصريف المائى الشاذ فى منطقة البحيرات العظمى *The Great Lakes* فى الولايت المتحدة الأمريكية . وخلال فترات انصهار الجليد وتراجعه

Deglaciation كانت المياه المنصهرة من الجليد تنحصر على شكل بحيرات تمتد أبعادها فيما بين الأطراف النهائية للغطاءات الجليدية المتراجعة شمالاً من جهة وبين الأراضى المرتفعة الواقعة جنوباً من جهة أخرى . وقد تأثر منسوب المياه فى هذه البحيرات تبعا لحدوث حركات رفع أرضية بسيطة فى مناطق تكوين هذه البحيرات عند انسياب مياه البحيرات إلى الأنهار المجاورة لها وعند تكوين مخارج لها *Out Lets* .

وتكونت البحيرات العظمى الأمريكية بفعل انصهار الغطاءات الجليدية التى كانت تغطى منطقتها وأراضى كندا على مراحل متلاحقة ومنذ ١٤ ألف سنة مضت تقدمت الغطاءات الجليدية فوق منطقة البحيرات العظمى الحالية وتكونت عند نهاياتها بحيرتان صغيرتان هما بحيرة شيكاغو *Chicago* (تمثل الطرف الجنوبى من بحيرة ميتشجان الحالية) وبحيرة مومى *Moumee* (التى تشغل منخفض بحيرة إيرى الحالية والأراضى الواقعة إلى الشمال منها) . ومنذ حوالى ١٣ ألف سنة مضت تراجعت الغطاءات الجليدية شمالاً ، ونتج عن ذلك انصهار الجليد وتجمعت المياه فى المنخفضات البحيرية السابقة ومن ثم ازدادات مساحة بحيرة شيكاغو وبحيرة مومى (والتى أطلق عليها فى هذه الفترة اسم بحيرة وتيلسى *Whittlesey*) وظهرت بحيرة جديدة أطلق عليها اسم بحيرة ساجينو *Saginow* وهى تمثل الطرف الجنوبى من بحيرة هورن الحالية . ومنذ نحو عشرة آلاف سنة مضت استمرت الغطاءات الجليدية فى التراجع شمالا وكاد يختفى الجليد من منطقة البحيرات العظمى الأمريكية وتجمعت المياه المنصهرة فى المنخفضات وتكونت بحيرات واسعة المساحة تتمثل فى بحيرات سوبيريور *Superior* وشيبوا *Chippewa* (بحيرة متشيجان الحالية) وستانلى *Stanley* (هورن الحالية) وإيرى . وكان المخرج الرئيسى لمياه هذه البحيرات يتمثل فى المخرج الشمالى الذى كان يمتد من بحيرة ستانلى شرقاً حتى خليج نورث غرباً . ولكن نتيجة لحركة رفع إيوستاسية جديدة حدثت فى منطقة البحيرات العظمى بعد انصهار الجليد الذى كان متراكما فوقها ، إرتفعت أراضى منطقة خليج نورشا وإنغلق مخرج بحيرة

ستانلى ، فى حين إتصلت بحيرة ايرى وانتاريو بخليج نهر سنت لورنس ومن ثم انصرفت مياه البحيرات العظمى إليهما عبر هذا المخرج المائى الجنوبى .

التأريخ الزمنى للعصر الجليدى *Chronology* :

حتى الستينيات من هذا القرن ظل العلماء يعتقدن بأن طول الفترة الزمنية لعصر البلايوستوسين لا تتعدى مليون سنة فقط . ولكن تبين لبعض العلماء ومن بينهم الأستاذ ريتشارد فلينت *R. Flint* بأنه عند التحليل الإشعاعى لبعض عينات صخرية نارية وجدت ممثلة فى التكوينات الإرسابية الجليدية أن البوتاسيوم ٤٠ تحول إشعاعياً فيها إلى أرجون ٤٠ ، وأن عمر الرواسب الجليدية فى هذه الحالة أقدم بكثير من مليون سنة . وقد أشار بعض الجيولوجيين كذلك إلى أن عمر التكوينات الصخرية لبداية عصر البلايوستوسين ربما ترجع إلى نحو ٢,٥ مليون سنة . بل رجح البعض الآخر أن العمر الجيولوجى لبعض التكوينات الجليدية فى العروض العليا (باستخدام طريقة التحليل الاشعاعى وتحول البوتاسيوم ٤٠ إلى أرجون ٤٠) يتراوح من ١٠ إلى ٢٠ مليون سنة . وبلا شك لا تنتمى هذه التكوينات الجليدية الأخيرة إلى جليد عصر البلايوستوسين ، بل ربما تعرضت العروض العليا لفترات جليدية أقدم عمراً من الفترات الجليدية البلايوستوسينية .

ويستخدم العلماء طريقة كربون ١٤ عند تأريخ الخمسين ألف سنة الأخيرة من نهاية عصر البلايوستوسين . وقد أكدت النتائج أن تقدم الجليد على منطقة البحيرات العظمى الأمريكية بدأ منذ حوالى ٢٥ ألف سنة مضت ، وبلغ أقصى مداه منذ نحو ١٨ ألف سنة . وقدر العلماء أن المتوسط السنوى لتقدم الغطاءات الجليدية هنا بنحو ١٦٠ قدم/ السنة . وتراجع الجليد عن هذه المنطقة خلال فترتين زمنيتين رئيسيتين يتراوح عمر الأولى منهما من ١٢ إلى١٣ ألف سنة مضت والثانية من ١٠ إلى ١١ ألف سنة مضت وامتدت الأطراف الحدية للغطاءات الجليدية المتراجعة خلال الفترة الزمنية الثانية عند مناطق ميلوكى *Milwaukee* وبفلو *Buffalo* وشمال إقليم نيو انجلند . ومنذ نحو ٨٠٠٠ سنة

مضت أزيلت الغطاءات الجليدية من منطقة البحيرات العظمى الأمريكية . ويرجح العلماء بأن درجات حرارة الهواء منذ نحو ٥٠٠٠ سنة في العروض الوسطى كانت أعلى بنحو ٢° فقط عما هي عليه في الوقت الحاضر .

ثانيا : فعل الجليد المعاصر

Present day Glaciers

علم الجليد *Glaciology* :

يقصد بمصطلح «علم الجليد» *Glaciology* هو دراسة الجليد الحالى أى المعاصر وفعله *The study of the present ice and its action* . كما يقصد بدراسة الجليد الحالى هو دراسة الخصائص المميزة للأنهار الجليدية أى الثلاجات الحالية *Present glaciers* الممثلة فى بعض أجزاء من سطح الأرض فى الوقت الحاضر . وتفيد هذه الدراسة معرفة العوامل التى قامت بتشكيل الثلاجات والغطاءات الجليدية *ice sheet* خلال الفترات الجليدية القديمة . ومن ثم يطلق على الجمعية البريطانية التى تختص أبحاثها بدراسة الجليد فى الوقت الحاضر اسم *"The British Glacialogical Society"* فى حين تعرف مطبوعاتها باسم مجلة علم الجليد الحالى *"Journal of Glaciology"* .

وعلى ذلك فإن مضمون دراسة علم الجليد *Glaciology* يختلف عنه فى «علم الجيولوجيا الجليدية» *Glacial Geology* وذلك لأن هذا العلم الأخير يختص بدراسة مؤثرات الثلاجات والغطاءات الجليدية القديمة *Former Glaciers and Glacial Sheets* والتى كان لها دوراً كبيراً فى تشكيل المظهر الجيومورفولوجى لمناطق واسعة من سطح الأرض فى العروض المعتدلة والباردة خلال الفترات الجليدية القديمة وخاصة جليد البلايوستوسين . ويكاد يتفق المضمون العام لعلم الجيولوجيا الجليدية *Glacial Geology* مع المضمون العام لعمل الجيومورفولوجيا الجليدية *Glacial Geomorphology*

غير أن الأخير يعنى بدراسة ظاهرات السطح بصورة أكثر تفصيلا كما يهتم كذلك بأثر فعل الجليد فى تشكيل التصريف النهرى . أما المناطق شبه الجليدية أى التى كانت تقع داخل النطاقات الجليدية ولكن لم يستطع الجليد *Nunataks* تغطيتها تبعا لارتفاع منسوبها مثلا أو تلك التى تقع مجاورة لنهايات الغطاءات الجليدية ومن ثم تعرضت بشدة لأثر فعل التجمد والانصهار *Freezing and thawing Action* وانسيابات التربة المشبعة بالمياه *Solifuction* وقد اختص بدراستها علم مستقل هو علم الجيومورفولوجيا شبه الجليدية *Peri-glacial geomorphology* أو جيومورفولوجية المناطق شبه الجليدية *Geomorphology of Periglaciated terranis* .

أما حدوث الجليد نفسه أو بمعنى آخر حدوث عملية التجلد فتعرف باسم *Glaciation* ، وهى الحالة التى كانت الأراضى تتغطى فيها بالثلاجات والغطاءات الجليدية القديمة (أثناء العصر الجليدى البلايوستوسينى) . كما يطلق الباحثون على عكس هذه الحالة الأخيرة أى على حالة إزالة الجليد وانصهاره وتراجعه عن المناطق التى كان يغطيها قديماً مصطلح «عدم حدوث التجلد» *Deglaciation* . ويرى الأستاذ دادلى ستامب *D.Stamp* بأن بعض الباحثين استخدموا هذا التعبير أحياناً ليدل على فترة زمنية كذلك وعلى سبيل المثال نقول «فترة الفيرم الجليدية الأولى» *The First Wurm Glaciation* .

وينبغى أن نميز بين عملية حدوث الجليد فى الماضى *Glaciation* وبين عملية حدوثه فى الوقت الحاضر *Glacierization or Glacierisation* ، ويقصد بهذا المصطلح الأخير هو تحول الجليد إلى ثلاجات فى الوقت الحاضر *Conversion into Present glaciers* ويعرف هذا المصطلح فى اللغة الألمانية باسم *Vergletscherung* .

وقد استخدم الأستاذ رايت *Wright, C. S. (1922)* مصطلح «حدوث الجليد فى الوقت الحاضر أو الجليد المعاصر» *Glacierization* عند دراسته للغطاءات الجليدية الحالية والتى تغطى الأراضى الجديدة *Terra Nova* فى القارة

القطبية الجنوبية ، فى حين استخدم الأستاذ ثومبسون *Thomposon, H.* *(1954)* مصطلح «إزالة أو عدم حدوث الجليد فى الوقت الحاضر» *Deglacierization* عند دراسته لأجزاء سطح الأرض التى أزيل عنها الجليد حالياً وبعد أن كان متجمعاً فوقها حتى خلال السنوات القريبة .

ومن ثم فإن مضمون علم الجليد *Glaciology* هو دراسة الثلاجات الحالية أو المعاصرة *Present glaciers* والعوامل التى تؤثر فى تكوينها تحت الظروف المناخية الحالية وكذلك مدى تأثيرها فى تشكيل المظهر الجيومورفولوجى للمناطق التى تتأثر بها . ولهذه الدراسة أهمية كبيرة ليس فقط بقصد تعميق فهم عمل الجليد ولكن لجمع قاعدة معلومات مهمة عنه تفيد الحياة العملية وفى الدراسات التطبيقية .

الثلاجة أو النهر الجليدى *A Glacier* :

يختص علم الجليد بدراسة الثلاجات الحالية والتى لا تزال فى دور التكوين فى الوقت الحاضر . ومن ثم ينبغى أن نميز بين الأراضى التى تشكلت بالجليد قديماً *Glaciated Lands or Terrains* وتلك التى تتشكل به حالياً وتعرف بعدة مصطلحات إنجليزية منها *Glacierized Ice-Covered Land-Glacier Covered Lands-Terrains* .

والثلاجة (النهر الجليدى) هى عبارة عن كتلة من الجليد الذى تجمع طبيعياً فى شكل وادى جبلى محدد الجوانب ، وتنساب الثلاجة من منطقة نشوئها فى المناطق الجبلية إلى المناطق المنخفضة المنسوب فى أودية تتميز قطاعاتها العرضية بشكل حرف *U* فى اللغة الانجليزية ، وتتلقى الثلاجة الواقعة فوق منسوب خط الثلج الدائم *Snow Line* الثلج الذى ينساب إليها من الأودية الجليدية المعلقة *Hanging glaciers* والقمم الجبلية الجليدية القرنية الشكل *Glacial horns* والحلبات الجليدية *Cums, Carries, Nivation hollows or Firns* .

وتتصف الثلاجة بأنها نشيطة *active* اذا كان حوضها يكتسب كميات هائلة من الثلج المتساقط عليه سنوياً . ومن بين هذه الثلاجات النشيطة تلك التى تتكون فوق السفوح الجبلية العالية المواجهة للبحار فى العروض الباردة مثل ثلاجات جبل سانت إلياس وقمته *Saint Elias* وثلاجات جزيرة كودياك *Kodiak* وخليج ياكوتات *Yakuat* وجوستافوس *Gustavus* وستكا *Sitka* وبيترز *Peters* على طول الساحل الجنوبى الجبلى لشبه جزيرة ألسكا .

وتشاهد الثلاجات الكبرى فوق السفوح الغربية لمرتفعات الألب الجنوبية فى الجزيرة الجنوبية لنيوزيلند ، وبعض ثلاجات مرتفعات بتاجونيا فى القسم الجنوبى من مرتفعات الأنديز وبعض ثلاجات إيسلند والنرويج وإقليم كبنكيس *Kebnekaise* فى السويد وبعض الثلاجات الجبلية فى مرتفعات شرق سيبريا .

وهناك مجموعة أخرى من الثلاجات التى تتكون اليوم كذلك فوق السفوح الجبلية العالية والتى تقع فى العروض الوسطى ويقع بعضها فى بيرو ومرتفعات شرق أفريقيا .

ومعنى ذلك أن الثلاجات تتكون اليوم فى المناطق التى تتغطى بالغطاءات الجليدية ، التى تشكل سطح الأرض فى الوقت الحاضر ، وأكبر هذه الغطاءات مساحة تلك التى تتكون فى القارة القطبية الجنوبية *(Antarcatica)* حيث تبلغ مساحتها ١٤ مليون كم^2 نحو ٩٦٪ من جملة مساحة الغطاءات الجليدية الموجودة فى العالم فى الوقت الحاضر ونحو ١٠٪ من جملة مساحة سطح اليابس .

وقدر العلماء الحجم الإجمالى للغطاءات والثلاجات والتكوينات الجليدية فى العالم فى الوقت الحاضر بنحو ٢٤ مليون كم ^{3} وإذا تعرضت هذه الكتلة الثلجية الهائلة الحجم للإنصهار وانسابت مياهها نحو البحر فإن مستوى سطح البحر قد يرتفع بنحو ١٦٠ إلى ٢٠٠ قدم فوق مستواه الحالى . وأوضح الأستاذ فلينت *Filnt, R. F., (1957)* بأن حجم الغطاءات والتكوينات الجليدية خلال مرحلة الجليد الأقصى *Maximum Glaciation* فى عصر البلايوستوسين كان نحو

٣٠٠ إلى ٤٠٠ ٪ مثلا لحجمها فى الوقت الحاضر .

هذا وتعد الثلاجة *glacier* من أهم الظاهرات الجيومورفولوجية للتكوينات الجليدية فى الوقت الحاضر . وقد عنى الباحثون فى علم الجليد *Glaciology* بدراسة العوامل التى تؤثر فى نمو الثلاجات فى الوقت الحاضر وتلك التى تؤدى إلى تراجعها وانكماش امتداداتها . وتهتم الدراسات الجيومورفولوجية والمتيورولوجية والمناخية والمساحية والباليوجرافية وتلك الدراسات التى تعنى كذلك بتحليل مكيانيكية تحرك الثلاجات ونظمها الحرارية الديناميكية وجيوفيزيقيتها *Glacier Geophsics* ، بتحليل الخصائص المميزة للثلاجات وتطور نموها فى الوقت الحاضر وأشكالها الجيومورفولوجية وطرق تصنيفها ومؤثراتها فى تشكيل سطح الأرضى فى الوقت الحاضر ودلالاتها وأهميتها وكيفية الاحاطة من مخاطرها أو الاستفادة منها إقتصادياً .

وتتكون الثلاجة فى البداية من تجمع الثلج الفقاعى *Bubbly ice* والذى تتراوح كثافته النوعية من ٠,٨٨ – ٠,٩٠ جرام / سم٣ . ويتألف هذا الثلج من بلورات يتداخل بعضها فى البعض الآخر ، وينحصر فيما بينها جيوب هوائية وقطرات من المياه المنحبسة . وتبلغ الكثافة النوعية لهذا الثلج فى صورته العام هذه نحو ٠,٩٠ جرام / سم٣ . كما تظهر تجمعات الثلج الفقاعى إلى أسفل خط الثلج الدائم خلال فصل الصيف ، أما الثلج المتماسك فيتمثل فوق السفوح التى تقع فوق خط الثلج الدائم ويعرف باسم ثلج الحلبات *Firn ice* ويتراوح سمكه من بضعة أقدام فوق السفوح الشديدة الانحدار إلى عدة مئات من الأقدام فى المقعرات الجبلية وأحواض الحلبات الجليدية . ويطلق على عملية تحول الثلج الفقاعى المتطاير إلى ثلج شبة متماسك فى المقعرات والحلبات الجليدية مصطلح «التجمد الحلباتى» *Firnification* ، وإذا اشتد تجمد الثلج وتجلده عن ذلك يصبح كتلا متماسكة الأجزاء ويؤدى إلى تكوين ثلج الثلاجة أو ثلج الوادى أو النهر الجليدى *Glacier ice* .

وتختلف كثافة الثلج المتساقط حديثاً من ٠,١ – ٠,٣ جرام / سم٣ بينما

تتراوح الكثافة فى الثلج القديم الأكثر تماسكاً من ٠,٣ - ٠,٤٥ جرام / سم^{3} وتتراوح الكثافة فى ثلج الحلبات من ٠,٧٥ - ٠,٨٨ جرام / سم^{3} . وتعد عملية تحول الثلج من حالته الهشة المتطايرة إلى الحالة الصلدة المتماسكة عملية مركبة . فعملية التجمد هذه فوق السفوح الجبلية العالية فى العروض الوسطى تتم أساساً عن طريق اندماج *Compaction* الجزئيات الثلجية بعضها فى البعض الآخر . فى حين أن لعمليات الاندماج الميكانيكى للذرات الثلجية وإعادة تبلورها *re-crystallisation* ولتأثير الرياح تأثيراً واضحاً فى تكوين الثلج المتماسك *glacier ice* فى العروض الباردة .

الثلاجات وخصائصها المورفولوجية :

على أساس اختلاف المظهر المورفولوجى العام للثلاجات يمكن تقسيمها إلى مجموعتين رئيسيتين هما الثلاجات الجبلية *Alpine-type Glaciers* والثلاجات الهضبية القطبية *Plateau or Polar-type Glaciers* وتتميز الثلاجات الجبلية بأنها متوسطة أو صغيرة الحجم ، وتبعا لتنوع الظروف التضاريسية يمكن أن نميز العديد من الأنواع الثانوية للثلاجات الجبلية منها ثلاجات الأودية الجليدية المعلقة *Hanging Valley Glaciers* وثلاجات الحلبات الجليدية *Cirque Glaciers* والثلاجات الحوضية الجبلية *Intermountain Basin Glaciers* وثلاجات الحافات الصخرية *Cliff Glaciers* ويرجع ذلك إلى تعدد الظواهر الجيومورفولوجية فى المناطق الجبلية الجليدية .

وتعد مجموعة ثلاجات الأودية الجبلية المعلقة هى أكثر أنواع الثلاجات شيوعاً فى المناطق الجبلية . ويتغذى هذا النوع من الثلاجات على ما ينساب إليه من ثلج الحلبات والثلج المتساقط من الحافات الصخرية وثلج الانهيارات الثلجية ، ومن بين أمثلتها ثلاجات منطقة سانت إلياس ، وتلك الواقعة عند الحدود بين كندا وألسكا . كما أن هذا النوع من الثلاجات يعد من أظهر أنواع الثلاجات الجبلية فى مرتفعات الألب فى أوربا ومرتفعات الأنديز فى جنوب

شيلى ، ومرتفعات الجزيرة الجنوبية فى نيوزيلندا ، ومرتفعات القوقاز ومرتفعات الهميلايا فى آسيا . وتعد ثلاجة هابرد *Hubbard Glacier* أطول ثلاجات الأودية الجبلية فى الأقاليم المعتدلة ويبلغ طولها نحو ١٠٠ ميلا وتقع على طول المنطقة الفاصلة بين شبه جزيرة ألسكا وهضبة يوكون *Yukon* . أما ثلاجة فوجهان لويس *The Vaughan Lewis Glacier* وثلاجة هربرت الأعلى *Upper Herbert* فهما من أظهر أنواع ثلاجات التساقط الثلجى *Ice Fall Glaciers* فى ألسكا .

وفى الأراضى المنخفضة نسبياً والأقل تضرساً تظهر الثلاجات الهضبية والتى يتركز وجودها بوجه خاص فى المناطق القطبية ، وتتميز الثلاجات الهضبية فى مناطق الغطاءات الجليدية بكبر حجمها وقلة تضرسها *Faint Relief* . ومن أظهر أمثلة لها تلك التى تتمثل فى جزيرة جرينلند ، وفى القارت القطبية الجنوبية ومن ثم يطلق عليها بعض الباحثين اسم الثلاجات القارية أو الداخلية *Continental or Inland Glaciers* وعندما إنسابت الثلاجة من تحت أقدام الحافات الصخرية العالية صوب الأراضى المنخفضة فيطلق عليها هنا تعبير ثلاجات البديمنت *Piedmont Glaciers* ومن أمثلتها ثلاجة مالاسبينا *Malaspina* التى تقع بالقرب من خليج ياكوتات (ألسكا) وتزيد مساحة هذه الثلاجة عن ١٤٠٠ ميل مربع .

الثلاجات وخصائصها الجيوفيزيقية :

يقصد بالخصائص الجيوفيزيقية للثلاجة ، خصائصها الحرارية الديناميكية *Thermodynamic Characteristis* فقد تبين أن درجة حرارةالثلج *ice-temperature* ، ومقدار تماسكه وانضغاطه لهما أكبر الأثر فى طرائق إنسياب الثلاجة *Flow deformation* .

و تنقسم الثلاجات حسب خصائصها الجيوفيزيقية إلى مجموعتين رئيسيتين هما :

أ – الثلاجات القطبية *Polar Glaciers* .

ب – الثلاجات المعتدلة *Temperate Glaciers* .

و فيما بين هاتين المجموعتين تظهر مجموعات أخرى ثانوية مثل ثلاجات شبه قطبية *Sub-Polar Gl.* . وأخرى شبه معتدلة *Sub-Temperate Gl.* وقد أوضحت نتائج الدراسات الجيوفيزيقية بأن درجة حرارة الثلاجات القطبية تقع دائما تحت الصفر المئوى : وذلك فيما عدا بعض أجزاء من أسطحها العلوية التى قد ترتفع درجة الحرارة نسبيا لمدة محدودة لا تزيد عن بضعة أسابيع فى السنة تبعا للتغيرات الجوية الفصلية . وتسمح الظروف المناخية القطبية المناسبة لتكوين الثلاجات القطبية فى القارة القطبية الجنوبية حيث تظل درجة حرارة الثلاجة من سطحها و حتى عمق ١٠٠٠ قدم فيها أقل من الصفر المئوى كما تقل فيها كميات المياه المنصهرة أو المتداخلة فى الثلج وتتميز تكوينات الثلاجات القطبية بشدة تماسكها وصلابتها تبعا لأنضغاط الثلج فيها .

أما بالنسبة للثلاجات المعتدلة فإن درجة حرارة الثلج فيها تقع دائما عند نقطة الأنصهار *Melting Point* (الصفر المئوى) ، وتتداخل المياه المذابة فى التكوينات الثلجية كما تتميزتكويناتها الثلجية بقلة تماسكها وإنضغاطها . ومن ثم تختلف درجة حرارة الثلاجة من موقع إلى آخر فيها تبعا لمقدار تداخل المياه المنصهرة واختلاطها بالثلج ، و من أمثلتها ثلاجات جنوب ألسكا . وكثيرا ما تكون درجة حرارة السطح العلوى لهذه الثلاجة (من السطح وحتى عمق ١٠٠ قدم) أقل من الصفر المئوى شتاء .

و بالنسبة للثلاجات شبه قطبية فإن الارتفاع الفصلى فى درجة الحرارة يقتصر مداه على السطح العلوى للثلاجة (من ١– ٥٠ قدم) و إن كان تأثيره هنا يعد أكبر منه فى حالة الثلاجات القطبية (من ١– ١٠ قدم فقط) . فى حين تتميز الثلاجات شبه المعتدلة بأن القسم العلوى منها يتأثر بشدة بالحرارة الصيفية المرتفعة (فى نصف الكرة الشمالى) كما أن درجة حرارة اسطحها

الثلجية شتاء أقل من الصفر المئوى .

ولما كانت بعض الثلاجات تنساب من المناطق الجبلية القطبية إلى مناطق باردة أو معتدلة الحرارة فإن درجة حرارة الكتل الثلجية فيها تختلف أفقياً أو رأسياً من موقع إلى آخر ويعرف هذا النوع من الثلاجات بأنه متعدد فى درجات الحرارة *Polythermal Glaciers* . ويختلف هذا النوع الأخير عن الثلاجات الجبلية المحدودة الامتداد والتى تقع تحت أقدام الحافات الصخرية أو تحت أقدام الحلبات الجليدية حيث تتشابه فيها درجة حرارة الثلج من موضع إلى آخر وتعرف هذه الثلاجات ذات الحرارة المتساوية باسم *Iso-Thermal Glaciers* .

وتجدر الإشارة بان النظام الحرارى الديناميكى للثلاجة وكيفية إنتقال الحرارة فى أجزائها المختلفة يعد نظاما معقدا ، ويعزى ذلك إلى اختلاف التركيب الثلجى لأجزاء الثلاجة و ظروف تكوين كل جزءمنها . ولا يتميز جليد الحلبات والجليد الفعلى بتجانس حرارتهما بالنسبة للثلج المتساقط فقط ، بل إنهما كذلك أعلى كثافة عن غيرهما من الجليد فى أى جزء آخر من أجزاء الثلاجة . فبينما تبلغ كثافة الثلج الحديث التساقط *New Snow* الريشى الشكل ٠,٢ (جرام / سم^{٣}) فإنها تصل فى الثلج الأقدم نسبيا ٠,٣ وفى الثلج المتجمع حديثاً فى الحلبات نحو ٠,٥٥ والجليد الثلجى فى الحلبات *Neve or Firn* بنحو ٠,٧٥ والجليد الفعلى *ice* نحو ٠,٩٢ وإن كانت الحرارة النوعية *Specific Heat* لكل من الثلج والجليد معاً تبلغ نحو ٠٥ (كالورى م $^{-٥\ ١}$ جرام$^{-١}$) .
وعلى ذلك فإن أهم العوامل الطبيعية المؤثرة فى الموجات الباردة فى جسم الثلاجة تتمثل فى درجة التوصيل الحرارى $^{(K)}$ *Thermal Conductivity* للوسط الثلجى أو الجليدى ودرجة حرارته النوعية *Specific Heat* ، وكثافته (ا) وإنتقال الحرارة فى التكوينات الثلجية يعتمد على كل هذه العوامل السابقة الذكر والتى تؤثر بدورها فيما يعرف بإسم الإنتشار النسبى *Diffusivity* والتى يمكن الحصول عليها بالمعادلة الآتية :

$$K = K/CP$$

وعلى ذلك يتبين أن الحرارة النوعية للثلج ثابتة فى حين تختلف قيم كل من كثافة الثلج ودرجة التوصيل الحرارى فيه تبعا لعمر الثلج ومدى انضغاطه وموضعه الجغرافى . ولما كانت نسبة الانتشار فى ثلج الحلبات تبلغ ٠,٩١ وفى الجليد ١ ، فإنها تعد نسبة متقاربة فى حين تنخفض قيمتها فى الثلج المتساقط حديثاً (حيث تصل إلى نحو ٠,٢٧) أنظر الجدول الآتى :

المـــــواد	درجة التوصيل الحرارى كالورى م°-١ سم-١/ثانية	الحرارة النوعية كالورى م°-١ جرام-١	الكثافة جرام/سم٣	الانتشار سم٢/الثانية	الانتشار النسبى بالنسبة للجليد (النسبة التقريبية)
الثلج المتساقط حديثاً	٠,٠٠٠٣	٠,٥	٠,٢٠	٠,٠٠٣٠	٠,٢٧
الثلج المتساقط قديماً	٠,٠٠٠٦	٠,٥	٠,٣٠	٠,٠٠٤٠	٠,٣٦
الثلج المتجمع حديثاً فى الحلبات	٠,٠٠١٩	٠,٥	٠,٥٥	٠,٠٠٧٠	٠,٦٤
الثلج المتجمع قديماً فى الحلبات	٠,٠٠٣٨	٠,٥	٠,٧٥	٠,٠١٠٠	٠,٩١
الجليد	٠,٠٠٥٠	٠,٥	٠,٩٢	٠,٠١١٠	١,٠٠
المياه	٠,٠٠١٤	١,٠	١,٠٠	٠,٠٠١٤	٠,١٣
المطاط	٠,٠٠٠٥	٠,٤	٠,٩٢	٠,٠٠١٤	٠,١٣
الحديد الصلب	٠,١١٠٠	٠,١٢	٧,٨٥	٠,١٢	١١
الألومنيوم	٠,٤٨٠٠	٠,٢١	٢,٧٥	٠,٨٦	٧٨
النحاس	٠,٩٣٠٠	٠,٠٩	٨,٩٤	١,١٤	١٠٤

ويتبين من هذا الجدول أن درجة التوصيل الحرارى فى الجليد والتكوينات الثلجية أقل بكثير منها فى حالة المواد الصلبة كالحديد والألمونيوم والنحاس وأن الحرارة النوعية للتكوينات الثلجية تبلغ نحو نصف قيمة الحرارة النوعية للمياه والتى تساوى ١ ، كما أن كثافة الجليد والتكوينات الثلجية أقل من كثافة المياه وأقل فى نفس الوقت بكثير من كثافة الحديد والألمونيوم والنحاس ، وهذا

كله له أثره فى تحديد الانتشار الحرارى وكيفة انتقال الحرارة فى كل من هذه المواد المختلفة .

ويطلق على الحالة السنوية لصحة الثلاجة أو قوتها تعبير نظام نمو الثلاجة *Regime* ، ويقصد بذلك حاصل ميزان كتلة الثلاجة الناتج عن الفاقد *Ablation* أو المستأصل من كتلتها الثلجية بالانصهار ، والمكتسب *Accumulation* من الثلج المتساقط والمنساب إليها سنوياً . ويعد خط الثلج الدائم *Snow or Permanant Neve or Firn Line* فى المناطق المعتدلة هو الحد الفاصل بين السفوح العليا المغطاة بالثلج الدائم ومناطق تجمع الثلج *Accumulator* وبين السفوح السفلية التى أزيل عنها الثلج *Dissipator* .

ويختلف منسوب الثلج الفصلى من فصل إلى آخر تبعا للظروف المناخية والمحلية فى الإقليم . وبالنسبة لحقل ثلج جانو *Juneau* فى جنوب ألسكا ، يختلف منسوب خط الثلج فيه من منسوب ٢٤٠٠ إلى ٣٨٠٠ قدم من سنة إلى أخرى خلال العشرين سنة الأخيرة . وقد ينخفض منسوب خط الثلج الدائم فى المناطق القطبية ويصل إلى منسوب سطح البحر . ويمكن أن نوضح بالرسوم البيانية العلاقة بين مقدار المكتسب ومقدار الفاقد من الثلج فى الثلاجة وأثر ذلك فى تشكيل منحنى صافى ميزانيتها *Net Budget Curve* ، وكذلك مقدار الفاقد من الثلج أو المكتسب منه ، عند كل إرتفاع معين فوق سفوح الثلاجة . وللحصول على الميزانية الكلية *Total budget* فإن نتائج هذا الشكل تضرب فى حاصل المساحة الكلية للثلاجة عند ارتفاع معين . وقد تبين أن نسبة مساحة أراضى الثلاجة التى تكتسب الثلوج فى المناطق الألبية *Alpine* إلى نسبة مساحة أراضيها التى تفقد أو تزال الثلوج عنها تبلغ ٤ : ١ ، بينما تبلغ هذه النسبة فى ثلاجات جرينلند نحو ١٠٠ : ١ وفى ثلاجات القارة القطبية الجنوبية ١٠٠ : ١ ويحسب مقدار التغير الرأسى فى منسوب خط الثلج الدائم بحساب مقدار الثلج المتراكم فوق جدران الشقوق الثلجية العميقة *Crevasse walls* أو بطريقة الصوت *Sounding* أو بالحفر والتثقيب *Boring* .

بنية الثلاجة وحركتها *Structure and Movement of a Glacier* :

تبعا لتنوع نظم بناء الثلاجة فإنها تعد معملا نموذجياً للدراسات الميدانية الجيولوجية الجليدية ويتأثر نظام بناء الثلاجة بالآتى :

(أ) طباقية الكتل الثلجية *Stratification (bedding strata)* .

(ب) الشقوق الرئيسة والثانوية فى جسم الثلاجة .

(جـ) التورّق أو التصفح التكتونى الحدى المتقطع فى الثلاجة *discontinuous marginal tectonic foliation* .

(د) الأسطح الثلجية المصقولة والمتماسكة *Ablation surface* بعد إزالة ما فوقها من تراكمات ثلجية .

كما قد تظهر بعض أجزاء من الكتل الثلجية على شكل ثنيات محدبة *Folded structure* أو كتل صدعية *Faulted Blocks* . وقد تتعرض قطرات المياه المنصهرة والمناسبة من أعلى إلى أسفل فى تكوينات الثلاجة إلى اعادة تجمدها من جديد ، وقد أوضحت القطاعات العرضية فى جسم الثلاجة ظهور مثل هذه المياه بعد إعادة تجمدها على شكل أعمدة ثلجية رأسية *Dykes or Columns* متداخلة فى جسم الثلاجة وكأنها سدود رأسية . وتسهم عمليات الشد فى اتجاهين متضادين *Tension* فى تكوين الشقوق الكبيرة الحجم *Crevasses* وفتحات البرجشروند *Bergschrunds* فى ظهر الحلبات الجليدية . كما يتشكل سطح الجليد بحفر عميقة يعرف بعضها بإسم الطواحين الجليدية *Glacier mills or Moulins* حيث تعمل المياه المنصهرة على حفر فجوات عميقة فى جسم الثلاجة ، ويعرف بعضها الآخر بإسم الحفر أو الثقوب الحرارية *Cryoconite holes or Thermal pits* وتتكون هذه الحفر الأخيرة حول الكتل الصخرية المدفونة فى الجليد وذلك بعد أن يتعرض الجليد الذى حولها للأنصهار فتسقط الكتل الثلجية إلى أسفل وتتكون مثل هذه الحفر العميقة . كما تعمل الرياح على تشكيل أسطح جليد الثلاجة بالحزوز والخدوش ويصبح سطح الجليد مخدوشاً أو مشوهاً . وتؤثر كل هذه المظاهر البنيوية فى نظام

حركة الثلاجة وسرعتها . ويلاحظ أن القسم العلوى من الثلاجة يتحرك بدرجة أسرع من قسمها الأسفل وينتج عن ذلك تعرض أجزاء الثلاجة للتكسر والإنزلاق ، ويتميز قطاع سرعة مثل هذه الثلاجات باستقامته أحياناً *Recti-linear Block-follen Velocity* .

ويطلق على التقدم الفجائى فى جسم الثلاجة أو تراجعها ، وعلى زيادة ارتفاع سطح الجليد فى الثلاجة أو إنخفاضه ، تعبير تذبذب أو تموج الثلاجة *Surging Glacier* . وعند زيادة حجم الثلاجة بصورة فجائية قد تحول الثلج إلى جليد متماسك الأجزاء ومن ثم تزداد سرعته وتكثر فيه الشقوق العرضية والطولية *Crevasses* . ويلاحظ أن سرعة تقدم الثلاجة تفوق حجم الزيادة المكتسبة من الثلج المتساقط . وتعرف هذه السرعة الديناميكية (بغض النظر عن اعتبارات الكتلة والقوة) بتعبير الحركة الكينمائية للثلاجة *Kinematic* .

ويعتقد بعض الباحثين أن الثلاجة قد تتعرض لفترة ثبات قد تستمر لمدة خمس سنوات تحت الظروف المناخية الحالية التى تنشأ فيها ، ولكن عند تساقط الثلج فجأة وبكثرة فى منطقة المنابع العليا قد تنبعث حركة الثلاجة من جديد وتسترد عافيتها وقوتها الحركية الكينمائية ، ويتموج سطح الثلاجة فجأة *Catastrophic Surge Phenomena* بين ارتفاع وإنخفاض وتنساب الثلاجة نحو الأراضى المنخفضة المنسوب . وقد تعود أسباب هذه الحركة إلى العلاقة بين الضغط الناتج عن ثقل الثلج الذى تساقط فجأة فوق جسم الثلاجة ذات سمك معين ، فإذا عجزت الكتل الثلجية السفلية عن تحمل عبء الثقل الجديد الذى وقع فوقها فإنها تتكسر وتتحرك من أعلى إلى أسفل بمساعدة المياه المنصهرة أسفلها .

ويرى بعض الباحثين أن تعرض جليد الثلاجة لإرتفاع بسيط فى درجة الحرارة قد يؤدى بدوره إلى تحرك الثلاجة وإنزلاق أجزائها كما حدث ذلك بالنسبة لثلاجة براسفالسبرين *Brasvalsbeen* فى سبتزبرجن عام ١٩٤٠ والتى تقدمت بنحو خمسة أميال فى أقل من خمسة شهور . ويقترح بعض

الباحثين احتمالاً ثالثاً لتفسير حركة التقدم الحديثة فى بعض الثلاجات فى الوقت الحاضر . ويتلخص هذا الاحتمال الأخير فى مدى تأثير حدوث الزلازل *Earthquakes* فى تعرض جسم الثلاجة للتكسر وللانزلاق ومن ثم للتحرك. وقد شاهد العلماء حدوث الانزلاقات الكبرى فى أجزاء بعض الثلاجات فى منطقة ألسكا خاصة بعد حدوث زلزال يوم الجمعة اليتيمة فى ألسكا عام ١٩٦٤ *Good-Friday Earthquake, 1964*. ويمكن القول أن العوامل التى تؤثر فى تحرك الثلاجة ،إنسيابها يختلف مدى فعلها من ثلاجة إلى أخرى حسب الظروف البيئية التى تسهم فى نمو الثلاجة وتطورها واستقرارها أو عدم استقرارها .

وقد درس الأستاذان تار *R. F. Tarr* ومارتن *L. Martin* عملية تموج سطح الثلاجة بين ارتفاع وانخفاض وأثر ذلك فى تقدمها أو تراجعها *Surging* فى منطقة ثلاجات خليج ياكوتات فى ألسكا عام ١٩١٠ . كما لاحظ العلماء استمرار عملية تقدم بعض الثلاجات وتراجعها كذلك فى الوقت الحاضر وخاصة فى حالة ثلاجات بلاك ريبدز *Black Rapids* فى ألسكا (عام ١٩٣٧) وثلاجة برورجاكول *Bruarjokl* فى ايسلندا (عام ١٩٦٥) وثلاجة مادفازهى *Medvezhii* فى بامير بالاتحاد السوفيتى (عام ١٩٦٣) وثلاجة مالدرو *Muldrow* فوق مرتفعات ماكينلى فى ألسكا (عام ١٩٦٤) ، هذا إلى جانب تقدم الثلاجات وتراجعها فى الآونة الأخيرة بكل من ثلاجات سبتزبرجن *Spitsbergen* وألسمير *Ellesmere* وفى بعض ثلاجات مرتفعات قرقورم والهيملايا .

الثلاجة والظاهرات الجيومورفولوجية المرتبطة بها :

تتمثل المنابع العليا للثلاجة فى القمم الجبلية الهرمية أو القرنية الشكل *Glacial horns* والحلبات الجليدية *Corries, Cums or Cirques or Nivation hollows* . وتبدو هذه الظاهرة الأخيرية على شكل ظهر الكرسى المستدير *Arm Chair* حيث إنها تتركب من ظهر شديد الانحدار حائطى

الشكل وإنحدار أمامى بسيط . وقد يشغل قاع الحلبات الجليدية بعض البحيرات الصغيرة الضحلة التى قد تنشأ عند انصهار الجليد وإنحباس المياه فى حوض الحلبة بواسطة الركامات الجليدية . وقد أوضحت الدراسات الجيومورفولوجية بأنه عند تعرض الحلبات الجليدية لفعل التعرية الجليدية وكذلك لعمليات تحرك المواد فإن ظهر الحلبات يأخذ فى التراجع الخلفى بمرور الوقت وتتسع أرضية الحلبة وجوانبها . وفى مرحلة متأخرة تنكمش مساحة الأراضى الفاصلة بين الحلبات المتجاورة وتتكون حواجز جبلية شديدة التضرس أشبه بسنون المنشار *Aretes* ، وتبرز القمة الجبلية فوق هذه الحواجز المضرسة على شكل هرم أو قرن جبلى *Pyramidal or glacial horn* . ومن أظهر امثلته جبل ماترهورن *The Matterhorn* فى سويسرا .

ويتميز ظهر الحلبات الجليدية بتعرضه لشقوق عميقة جداً تعرف بإسم فتحات البرجشروند *Bergschrunds* وقد اهتم بدراستها كل من جونسون *W. Jehnson, 1954* وفون لويس *W. Von Lewis, 1949* وقد رجح الأول أن فتحات البرجشروند تعزى إلى توالى حدوث عمليات التجمد والانصهار فى ظهر الحلبات ، ومن الصعب قبول هذا الرأى وذلك لأن المدى الحرارى اليومى والفصلى هنا يعد ضئيلاً جداً ولا يمكن أن ينتج عنه تكوين هذه الشقوق الكبيرة الحجم فى ظهر الحلبات . أما فون لويس فيرى أن هذه الشقوق العميقة نتجت بفعل المياه المنصهرة أسفل الثلج والمتجمعة أسفل الحلبات . وعند إعادة تجمدها تنكسر الكتل الصخرية وتكون فتحات البرجشروند . هذا إلى جانب إنسياب الكتل الثلجية من منحدرات شديدة جداً (ظهر الحلبة) إلى منحدرات بسيطة (قاع الحلبة) يؤدى بدوره كذلك إلى تكوين شقوق وفتحات البرجشروند فى ظهر الحلبات الجليدية .

وعندما تنساب الثلاجة فى منطقة المنابع صوب الأراضى المنخفضة بمساعدة فعل الجاذبية فإنها تكتشف أودية ما قبل الجليد *Pre-glacial Valleys* وتتخذ منها طريقاً لها . وينحصر جسم الثلاجة فى مثل هذه الأودية.

غير إنها تعيد تشكيلها من جديد ويعمل الجليد على نحت أرضيتها وتسويتها ويحتك بصخور جوانبها ويقشطها ومن ثم يظهر القطاع العرضى للثلاجة على شكل حرف *U* بخلاف القطاع العرضى للأودية النهرية الجبلية الذى يبدو علي شكل حرف *V* . أما الأدوية الرافدية للثلاجة فتظهر علي شكل ثلاجات معلقة *Hanging Glaciers* حيث لايصل مستوي قاعها إلي نفس المستوى الذي وصلت إليه الثلاجة الرئيسة . وقد يتشكل قاع الثلاجة بعدة ظاهرات جيومورفولوجية تختلف من موقع إلى آخر ومنها الأحواض المغلقة *Enclosed Basins* والمدرجات الجبلية الإرسابية *Glacial Terraces* والصخور الغنمية *Rochee Moutonnes* كما يتميز وادي الثلاجة بكونه قليل المنعطفات وبإمتداده الطولى ومن ثم يعمل علي قشط مناطق البروز لأراضى ما بين الأودية *interfluvial Crests* وتسوية الألسنة المتداخلة *Interlocking Spurs* وتكوين الألسنة المقشوطة *Truncated Spurs* بفعل نحت الجليد الشديد لجوانب الثلاجة .

وعلى ذلك تعمل الثلاجة على نقل كميات هائلة من المفتتات الارسابية تعرف بإسم الركامات الجليدية *Glacial Moraines* ومنها الركامات الجليدية الجانبية *Lateral M.* والوسطى *Medial M.* والنهائية *End M.* والأرضية *Ground M.* وذلك بحسب موقع الرواسب بالنسبة لمجرى الثلاجة .

أما اذا انسابت الثلاجات فى المناطق الجبلية الساحلية العالية إلى البحر المجاور لها على شكل جبال جليدية طافية ، فقد تتكون هنا ظاهرة الفيوردات *Fijords* ومن أمثلتها فيوردات ساحل النرويج والساحل الغربى لاسكتلندا والساحلى الجنوبى لشيلى . والفيوردات هى عبارة عن مصبات الثلاجات فى البحر وقد تصب هذه الثلاجات فى أودية نهرية أصلا إلا أنها تعيد تشكيلها من جديد وتصبح أودية للثلاجات وينحدر الثلج والكتل الثلجية إلى البحر عبر هذا المصب الجليدى على شكل جبال جليدية طافية *ice bergs* تعمل على تعميق أرضية المصب بالقرب من خط الساحل بفعل احتكاك قاع الجبال الجليدية

الطافية . ومن ثم يتبين أن أعماق الفيوردات تزداد عند خط الساحل وتقل الأعماق فى اتجاه البحر مما يؤكد تأثير فعل جبال الجليد الطافية فى نحت أرضية الفيورد . ومن المعروف كذلك أن عمق المياه فى الفيوردات أعمق بكثير من الارتفاع الذى طرأ على مستوى سطح البحر خلال عصر البلايوستوسين . فيبلغ متوسط عمق المياه فى فيورد سوجن *Sogne Fjord* فى النرويج نحو ٤٠ ألف قدم بينما عمق البحر عند مدخله نحو ٦٠٠ قدم ، ومع ذلك لم يزد الارتفاع فى منسوب سطح البحر منذ عصر البلايوستوسين حتى الوقت الحاضر عن ٣٥٠ قدم .

التذبذب الحديث فى حجم الثلاجات وتغيرها فى الوقت الحاضر :

فيما بعد مرحلة جليد ويسكونسين الكبرى *Wisconsin Maximum* أى منذ نحو ١٠,٠٠٠ سنة مضت ، تعرض العصر الجليدى لفترة إنكماش *Waning* واستمر فى تراجعه وتلاشت الثلاجات من فوق مناطق واسعة من العروض المعتدل وشبه المدارية . وتغير المناخ إلى مرحلة دفيئة ووصل إلى مرحلة التوازن أو المناخ الأمثل *Climatic Optiman* وذلك منذ نحو ٥٠٠٠ سنة مضت . ولكن فيما بين ١٠٠ سنة ق . م وبداية الميلاد نشطت الثلاجات من جديد ، وإنتعش نموها واستردت شيئا من عافيتها وتعرف هذه المرحلة بتعبير «تجديد نمو الثلاجات» *Recudesence of Glaciation* يطلق عليها بعض الباحثين تعبير مرحلة «الجليد الحديث» *Neo-Glaciation* . وعند بداية التاريخ الميلادى تعرض العالم لفترة مناخية باردة . وخلال الفترة الممتدة من القرن الخامس إلى القرن السابع الميلادى تلاشت التكوينات الجليدية من المسطحات البحرية . ومن دراسة المظاهر الحضارية لجماعات النورس (الشمال) *Norse Settlers* فى جرينلند يتبين أن المناخ كان معتدلا حتى القرن الرابع عشر الميلادى . ولكن بمجئ القرن السادس عشر انخفضت درجة الحرارة فى العروض الباردة ونتج عن ذلك زيادة حجم الجليد فى الثلاجات ، وإنتعش نموها من جديد . ويطلق علماء الجليد على هذه المرحلة تعبير «العصر

الجليدى الصغير *Little Ice Age* . وتعد هذه المرحلة الأخيرة هى آخر مرحلة جليدية فى العصر الجليدى الحديث *Neoglacial Age* .

ويتألف العصر الجليدى الصغير *Little Ice Age* من مرحلتين ثانويتين أدت إلى زيادة حجم الثلاجات عند بداية القرن الثامن عشر وخلال الفترة من نهاية القرن التاسع عشر إلى أواسط القرن العشرين ، ويمكن أن نوجز هاتين المرحلتين فى نظام نمو الثلاجات فى ألسكا خلال هذه المرحلة ، حيث تميزت ثلاجات نوريس *Norris* وجايوت *Guyot* وموير *Muir* ودى لانجل *De Langle* وبرادى *Brady* وتاكو *Taku* وهوبرد *Hubbard* وكولومبيا *Columbia* وبيرد *Baird* فى ألسكا بتراجعها خلال الفترة من عام ١٦٥٠ إلى عام ١٨٨٠ ولكن فيما بعد ذلك وحتى عام ١٩٥٠ تجمع الثلج مرة أخرى فى المنابع العليا للثلاجات ونتج عن ذلك تقدمها الملحوظ . وتشبه الذبذبات التى حدثت فى حجم الثلاجات فى اسكنديناوه وإقليم بتاجونيا والقسم الجنوبى من الأنديز نفس هذه التغيرات السابقة الذكر . ومن ثم استنتج العلماء بأن هذه التغيرات هى عبارة عن تغيرات مناخية عالمية *Global* أى على مستوى العالم . أما بالنسبة للثلاجات فى المناطق القطبية وخاصة فى القارة القطبية الجنوبية فإن نظامها يكاد يكون ثابتاً ولم تؤثر هذه التغيرات المناخية الأخيرة فى تقدمها أو تراجعها بصورة واضحة المعالم .

الفصل الثالث والعشرون
بعض الظاهرات الجيومورفولوجية
فى المناطق الجليدية

يختص هذا الفصل بدراسة أنواع الظاهرات الجيومورفولوجية التى تنتج عن فعل الجليد ، سواء أكان الجليد البلايوستوسينى القديم أو الجليد المعاصر . غير أن مجموعة الظاهرات الأولى هى الأكثر انتشاراً وتنوعاً على سطح الأرض وهى ظاهرات قديمة (حفرية) فى حين أن المجموعة الثانية تختص أساساً بدراسة جسم الثلاجات نفسها وهى ظاهرات حديثة نراها اليوم فى مناطق محدودة جدا من الأقاليم القطبية فى العالم .

وكما سبقت الاشارة من قبل فإن الغطاءات الجليدية البلايوستوسينية تعمل على تشكيل المظهر العام لسطح الأرض وظواهره فى المناطق التى غطتها وتحركت إليها . وعلى الرغم من أن ظاهرات سطح الأرض فى هذه المناطق السابقة تتألف من صخور قد تكون قديمة العمر الجيولوجى إلا أن شكلها الذى تبدو به اليوم والارسابات قد توجد حولها هى غالبا من نتائج فعل جليد البلايوستوسينى . وتتنوع هذه الظاهرات الجيومورفولوجية المختلفة ليس فقط تبعا لاختلاف تركيبها الجيولوجى وأثر فعل الجليد كعامل نحت أو نقل أو ارساب ، ولكن كذلك تبعا للموقع الجغرافى لهذه الظاهرات سواء أكانت تحتل مناطق جبلية داخلية مرتفعة أو أخرى ساحلية أو مناطق سهلية مستوية السطح .

وتظهر التكوينات الجليدية بأشكال مختلفة ولكل منها أثرها الواضح فى تكوين ظاهرات جيومورفولوجية متنوعة ، وتتمثل هذه الأشكال فى الآتى :

١ – الغطاءات الجليدية وغطاءات القمم الجبلية *Ice Sheets and Ice Caps* .

٢ – الثلاجات أو الأنهار الجبلية الجليدية *Glaciers* .

٣ – الأنهار الجليدية تحت أقدام الحافات الجبلية *Piedmont Glaciers* .

وتتكون الغطاءات الجليدية اما تبعا لتراكم الثلج المتساقط أو بواسطة تجمع الثلج المنحدر من القمم على شكل فرشات هائلة الحجم فوق المناطق السهلية . واذا كان تساقط الثلج غزيرا ، وظلت درجة الحرارة دون نقطة التجمد ، فلا يتعرض الثلج للانصهار بل ينجم عن تجمعه تكوين كتل جليدية تتحرك بدورها فوق سطح الأرض على شكل غطاءات واسعة الامتداد . وتمثل كل من قارتى جرينلند وأنتارتيكا ، المناطق الوحيدة فى العالم التى لا تزال مغطاة بغطاءات جليدية قارية فى الوقت الحاضر . وقد عثر الباحثون على عدة أدلة مختلفة أثبتت أن أجزاء واسعة من شمال أمريكا الشمالية وشمال غرب أوربا ووسطها كانت مغطاة بمثل هذه الغطاءات الجليدية منذ نحو ٢٥ ألف سنة مضت . وقد تبين من الدراسات الجيومورفولوجية التى أجريت فى بعض أجزاء من الغطاءات الجليدية فى جرينلند أن سمك الجليد يبلغ هنا نحو ٨٠٠٠ قدم ، وبالتالى تغمر هذه المناطق كل العوائق التى تقف فى طريقها طالما أنها تقع على منسوب أقل من منسوب الجليد . أما اذا تصادف وجود مناطق جبلية تقع أعلى عند منسوب الجليد فيطلق على مثل هذه الأراضى تعبير المناطق غير الجليدية *Unglaciated or Nunatks* .

وقدر الباحثون حجم الغطاءات الجليدية فى القارة القطبية الجنوبية بنحو سبعة أمثال تلك فى جرينلند ، ويمثل الجليد فيها هضابا واسعة يبلغ سمكها فى معظم أنحاء الجزيرة نحو ٩٠٠٠ قدم ، أما فى المناطق الحدية أو الهامشية الواقعة عند مقدمات الجبال الساحلية ، حيث ينزلق الجليد فى هذه المناطق إلى المحيط ، فيصبح سمكه عادة فى هذه المناطق الأخيرة أقل من السمك العادى له فى داخل الجزيرة . ومن أشهر الغطاءات الجليدية فى جرينلند تلك المعروفة باسم «حاجز روس العظيم» *Great Ross Barrier* التى تنتهى فى بحر «روس» على شكل حافات جليدية عائمة ويبلغ متوسط ارتفاعها نحو ١٥٠ قدم فوق سطح البحر .

أما الثلاجات أو الأنهار الجليدية فهى عبارة عن كتل من الجليد تنحدر من الحقول الثلجية إلى المنحدرات السفلية بفعل الجاذبية . وتكاد تتمثل حقول الثلج الدائمة فى جميع قارات العالم ما عدا أستراليا . ويتعرض الجليد فوق المنحدرات الجبلية لفعل الانصهار خاصة فى فصلى الربيع والصيف ، إلا أن بعض أجزاء من الجليد لا تتأثر بهذا الفعل وتبقى دائما موجودة فوق هذه المنحدرات ، ويطلق على المستوى الدائم للثلج والذى لا يتعرض لفعل الانصهار تعبير مستوى الثلج الدائم *Snow Line* . ويختلف ارتفاع هذا المستوى من منطقة إلى أخرى ، فهو فى المناطق القطبية مثلا يقع على ارتفاع ٢٠٠٠ قدم وفى جنوب جريتلند وشيلى على ارتفاع ٥٠٠٠ قدم ، وشمال النرويج وجنوب ألسكا على ارتفاع ٩٠٠ قدم ، بينما فى جبال الألب يظهر على ارتفاع ١٣٠٠٠ قدم ، وفى الهيملايا على ارتفاع ١٨٠٠٠ قدم . ولا يعد عامل انخفاض درجة الحرارة العامل الوحيد الذى يؤدى إلى تكوين خط الثلج الدائم واستقراره أو بقائه ثابتا . فمثلا على الرغم من أن الجزء الشمالى لسيبريا هو من أبرد مناطق العالم ، وأن التربة فى الأقاليم الممتدة بين نوفايا زمبليا غربا ومضيق بهرنج شرقا تتميز بتجمدها طول العام ، إلا أن خط الثلج الدائم لا يتميز باستقراره وذلك يرجع إلى ندرة سقوط الثلج من جهة والانصهار السريع الذى يتعرض له الجليد خلال فصلى الربيع والصيف من جهة أخرى ، وعلى ذلك فيغلب تكوين الحقول الثلجية وتجمعها فى المناطق التى تتميز بسقوط الثلج بكثرة فى الشتاء ، بحيث لا يصبح فى امكان حرارة الصيف وعامل التبخر انصهار كل الثلج المتجمع شتاء . وقد تتكسر وتتجزء الكتل الثلجية بواسطة الرياح الشديدة أو عند سقوطها من ارتفاعات عالية على شكل هيارات ثلجية . لهذا فإن أصلح البقاع لتكوين الحقول الثلجية هى المناطق المقعرة فى أعالى الجبال وتلك المحمية من أشعة الشمس . ففى تلك المناطق يزداد حجم الجليد ويتراكم فوق بعضه البعض عاما بعد عام حتى يكون حقولا ثلجية تنساب منها الأنهار الجليدية .

ويتميز الثلج عند بداية تجمعه فى المقعرات الجبلية وحقوله بكونه غير متماسك كما أنه يضفى اللون الأبيض على المناطق التى يزداد تجمعه فيها . وتبعا لتراكم بلورات الثلج فوق بعضها البعض ، والضغط الناتج عن ذلك ، ينضغط الهواء عادة بين هذه البلورات الثلجية .

وتنحدر الأنهار الجليدية من مصادرها الأولى فى المناطق المرتفعة ببطء شديد على شكل لسان جليدى يستمد مصدره وقوته من الثلج المتراكم فى الحقول الثلجية . ومن ثم يتعرض النهر الجليدى للانصهار والتبخر فى الصيف بينما يتقدم النهر الجليدى خلال فصل الشتاء ببطء . وتسمى مقدمته باسم رأس النهر الجليدى *Front or snout* .

وقد يبلغ منسوب هذه المقدمة نحو عدة آلاف من الأقدام تحت منسوب خط الثلج الدائم والحقول الثلجية . وحيث تتعرض الأنهار الجليدية بالمناطق القطبية فى الوقت الحاضر لفعل التبخر والانصهار فإن مقدمات النهر الجليدى فى تقلص وانكماش تدريجى صوب منابعها العليا . واذا انسابت الأنهار الجليدية من اليابس وانتهى بها المطاف إلى البحر أو المحيط المجاور ، يظهر الجليد على شكل جبال ثلجية أو جليدية عائمة *(Ice-bergs)* ومن المعروف أن نحو ٠,٩ من حجم هذه الجبال تكون غاطسة فى المياه بينما الجزء الباقى من حجمها هو فقط الذى يظهر فوق سطح المياه ، ومن ثم فإن هذه الجبال الثلجية تعد خطراً كبيراً على الملاحة البحرية وعلى المحطات البحرية ومراكز استخراج النفط من البحر .

تحرك الأنهار الجليدية :

تتقدم الأنهار الجليدية أو تتقهقر تبعا لمدى تراكم الثلج فى الحقول الثلجية العليا التى تعد منابع هذه الأنهار من ناحية ، ومدى تأثر النهر الجليدى بفعل الانصهار من ناحية أخرى . وقد أكدت نتائج الدراسات المختلفة أن سرعة الأنهار الجليدية الحالية فى جرينلند تعد من أسرع الأنهار الجليدية فى العالم حيث يتقدم بعضها خلال بعض فصول السنة بمعدل ٥٠ قدم فى اليوم الواحد .

بينما نهر «ميردى جلاسيه *Mer de Glace*» لا يتقدم أكثر من قدمين فى اليوم ونهر «بيردمور *Beardmore*» فى أنتارتيكا (وهو من أكبر ثلاجات العالم) لا يزيد تقدمه عن ٣ أقدام يومياً (لوحة ٧٢) .

ونتيجة للبحث الحقلى الذى أجرى فى الثلاجات ، وذلك بغرض أعمدة أو أوتاد متساوية الطول فى الأجزاء المختلفة من مجارى الأنهار الجليدية ، تبين أن الأعمدة المغروسة فى أواسط النهر الجليدى تتقدم بسرعة عن تلك الأعمدة المغروسة فى جوانبه ، كما تقل السرعة فى الأجزاء السفلى منه . وتتوقف سرعة النهر الجليدى تبعا لعدة عوامل مختلفة منها :

١ – مدى شدة انحدار السطح .
٢ – طبيعة تضرس المنطقة .
٣ – سمك الغطاءات والكتل الجليدية .
٤ – درجة الحرارة ومدى أثرها على انصهار الجليد .
٥ – تنوع المواد المنقولة مع النهر الجليدى واختلاف كميتها وأشكالها .
٦ – الطول الزمنى لفصلى الربيع والصيف .



(لوحة ٧٢) الثلاجة أو النهر الجليدى ـ لاحظ تكوين الشقوق الطولية ، والركامات الجليدية

وتجدر الاشارة إلى الاحاطة بأهمية عملية انصهار المياه داخل التكوينات الجليدية نتيجة لارتفاع درجة الحرارة ، فمن المعروف أنه اذا تعرض الجليد إلى أثر فعل الضغط المتساوى *Uniform Pressure* ، ينجم عن ذلك بطء الانصهار ، ولكن اذا كان الضغط الواقع فوق الجليد يختلف من حيث القوة من مكان إلى آخر *Non-Uniform* ، فقد ينجم عن ذلك اضعاف كتلة الجليد نتيجة لتكوين الشقوق والفتحات فيها ، ومن ثم سرعة انصهار الجليد .

الظواهر التى تشكل سطح الثلاجات :

يتميز سطح الثلاجات (الحالية وكذلك كان حال القديم منها) بأنه ليس سطحاً متساوياً ، بل يختلف من جزء إلى آخر من حيث الشكل والانحدار والظاهرات العامة التى تتكون فوقه . فإذا تجمع الجليد فى واد لنهر سابق ، أو انحصر بين جوانب جبلية عالية ، يكون النهر الجليدى مجرى محدد الجوانب



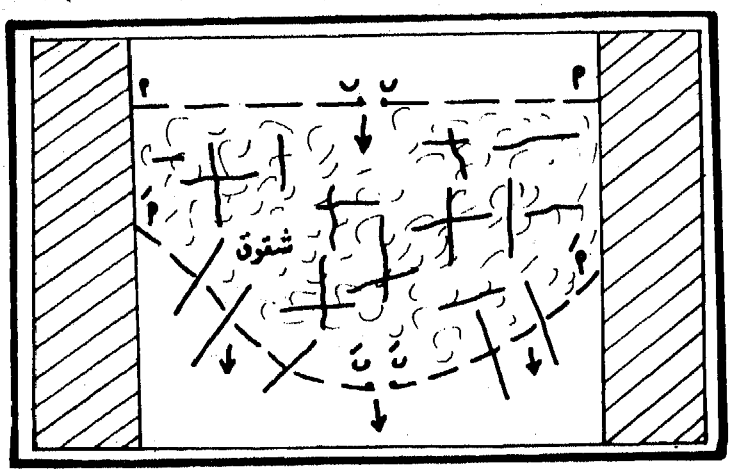
(لوحة ٧٣) الشقوق الجليدية فى أسطح ثلاجة الرون بالقرب من حليتش ـ سويسرة

. ولكن عندما يمر الجليد من واد متسع إلى آخر أقل اتساعا ، يتجمع فوق بعضه البعض ويزداد سمكا ، ويتشكل سطحه بواسطة تجعدات وتجاريف مختلفة . أما إذا تقدم الجليد من واديه إلى أراضى منبسطة سهلية منخفضة فيتسع امتداده ويقل سمكه ، ويتكون فوق سطحه فتحات وشقوق عميقة متشابكة تعرف باسم *Crevasses* ويمكن تقسيم هذه الشقوق حسب مواقع تكوينها إلى ثلاثة أقسام هى :

أ - شقوق عرضية *Transverse* : وتمتد عمودية على طول مجرى النهر الجليدى ، وقد تتكون نتيجة لمرور النهر الجليدى فوق أراضى وعرة مختلفة الانحدار ، أو تبعا لإنحدار النهر الجليدى من مناطق مرتفعة إلى مناطق منخفضة يفصل بينها أراضى شديدة التضرس .

ب - شقوق طولية *Longitudinal* : وتمتد موازية لامتداد مجرى النهر الجليدى ، وقد تتكون نتيجة لانسياب النهر إلى مناطق شديدة التضرس والانحدار (لوحة ٧٣) .

جـ - شقوق حدية أو هامشية *Marginal* : وتتكون عند مقدمة النهر الجليدى وكذلك فى الأجزاء الهامشية لروافده المعلقة ، ويعزى تكوينها إلى اختلاف سرعة النهر الجليدى من مكان إلى آخر (شكل ١٣٢) .



(شكل ١٣٢) أنواع الشقوق التى تشكل أسطح الجليد

وحيث تزداد سرعة النهر الجليدى في الجزء الأوسط من مجرى النهر فإن الخط أ ب ، يمتد بمرور الوقت إلى الحد أَ بَ ، وينجم عن ذلك شد كتلة الجليد وتكوين شقوق على شكل زوايا قائمة على الخط أَ بَ ، وعندما يتشابك شقان أو أكثر يتمزق سطح الجليد إلى مكعبات صغيرة ، ويطلق على السطح فى هذه الحالة تعبير السطح الجليد المشقق *Seracs* .

وتختلف التعرية الجليدية تبعا لاختلاف الموقع الجغرافى للإقليم ومدى تضرسه . وتعد المناطق المرتفعة العالية التى ينحدر منها الجليد ، مناطق يشتد فيها فعل التعرية الشديدة . وتتعرض المناطق السهلية المنخفضة التى تقع تحت أقدام الحافات الجبلية لكل من فعل التعرية والارساب ، بينما المناطق الحدية أو النهائية من الغطاءات الجليدية تشكل أساسا بواسطة فعل الارساب فقط . وفى كل من هذه الأقاليم الجيومورفولوجية الثلاثة (الجبلية المرتفعة والسهلية والحدية) يتشكل تصريفها النهرى بفعل التحويل والانحراف الجليدى *Glacial Diversions* .

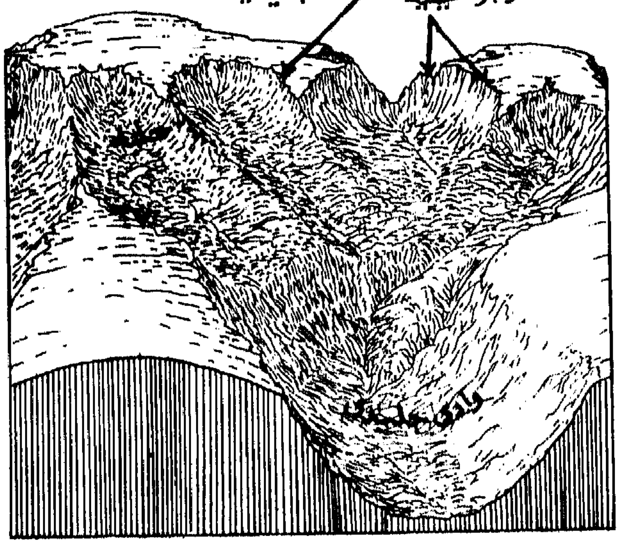
أولا : بعض الظاهرات الجليدية فى المناطق الجبلية المرتفعة :

قد يغطى الجليد معظم الأراضى المرتفعة فى المناطق القطبية فيما عدا قمم الجبال العليا التى تظهر عادة بارزة فوق سطح الجليد ، وبالتالى تتعرض هذه المناطق الأخيرة لتأثير فعل تجمد المياه وانصهارها *Freeze Thaw action* وينجم عن هذه العملية اتساع فتحات شقوق الصخر بالتدريج وتكوين مناطق ضعف جيولوجية تؤدى إلى تساقط الصخور وانزلاق الأرض . أما فى المناطق التى تقع أسفل القمم الجبلية والتى تغطى بالجليد طوال السنة فإن تأثير حدوث فعل تجمد المياه وانصهارها فى جوف الصخور يكون محدودا .

وتعد ظاهرة الحلبات الجليدية *Corrie* من بين أهم الظواهر التى ترمز إلى حدوث فعل التعرية الجليدية فى المناطق الجبلية . وتعرف هذه الظاهرة باسم *Cums or Cirques* وتبدو على شكل ظهر الكرسى المستدير *Armchair* حيث إنها تتركب من ظهر شديد الانحدار ، وقاعدة عميقة مقعرة ، وانحدار أمامى

تدريجى ، وقد يشغل قاعها بعض البحيرات الصغيرة الضحلة ، التى تنشأ بفعل انصهار الجليد وانحباس المياه بواسطة الركامات والارسابات الجليدية . وتعد نشأة هذه الحلبات الجليدية من المشاكل الجيومورفولوجية التى لم تفسر تفسيرا مقبولا حتى الوقت الحاضر . والرأى السائد أن الجليد يتجمع عادة فى مقعرات بسيطة أولية خاصة فوق المنحدرات المحمية من أشعة الشمس والتى لا تتعرض كذلك لرياح شديدة . ومن ثم تتكون الحلبات الجليدية مثل تلك التى تتكون فى أعالى مرتفعات سيرا العليا بكاليفورنيا (شكل ١٣٣ ، ولوحة ٧٤) .

ونتيجة لاختلاف درجة الحرارة خلال فصول السنة فإن الجليد المتجمع فى هذه المقعرات الأولية يتعرض لتوالى عمليات كل من تجمد المياه وانصهارها. ففى خلال فصلى الربيع والصيف تنساب المياه المنصهرة إلى جوف الصخور عن طريق فتحات الشقوق والفوالق الصخرية . أما خلال فصل الشتاء فتتعرض هذه المياه داخل هذه الشقوق لفعل التجمد . وتبعا لازدياد حجم المياه



(شكل ١٣٣) تجمع الجليد فى المقعرات الجبلية وتكوين النهر الجليدى



(لوحة ٧٤) الحلبات الجليدية فى أعالى مرتفعات سيرا العليا - بكاليفورنيا

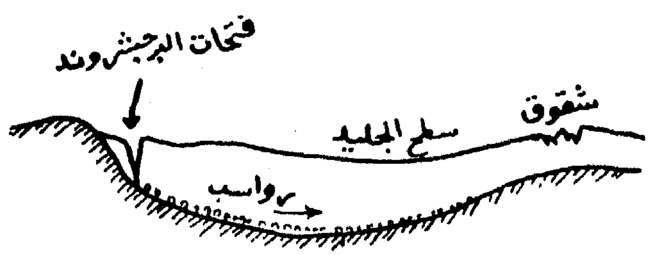
عند تجمدها تتسع الشقوق وتتفتت الصخور وتنقل الفتات بدورها إلى المنحدرات السفلى بمساعدة فعل الجاذبية الأرضية أو مع المياه المنصهرة بواسطة نقلها مع ارسابات طينية أو صلصالية . ويساهم توالى حدوث عمليات تجمد المياه وانصهارها بالاضافة إلى أثر زحف التربة المشحونة بالمياه *Solifluction* فوق أرضية الحلبات ، فى تعميق أرضية الحلبات ، وأن يبدو الظهر الخلفى للأخيرة على شكل حوائط جبلية مرتفعة شديدة الانحدار . ولكن أشار بعض الكتاب إلى أن هناك مجموعات مختلفة من الحلبات الجليدية تبدو هائلة الحجم للغاية بحيث لا يمكن الجزم بأن نشأتها ترجع إلى فعل كل من انصهار مياه الجليد *Nivation* وزحف التربة المشحونة بالمياه . ويصل ارتفاع الظهر الخلفى لهذه الحلبات الجليدية إلى نحو عدة آلاف من الأقدام ، كما وتتميز بانحدار شديد قد يزيد عن ٧٠° ، ومن الجدير بالذكر أن نشير هنا إلى تفسيرين هامين رجحا لتفسير تكوين ظاهرة الحلبات الجليدية وهما :

تفسير ويللارد جونسون *W. Johnson* (١) .

اهتم جونسون بدراسة فتحات الشقوق العميقة التى تتكون عند ظهر الحلبات الجليدية وتعرف باسم «البرجشروند *Bergschrunds*» . وقد استنتج أن فعل تجمد المياه وانصهارها ينشط فى قاع الحلبات الجليدية . ويساهم ذلك فى نقل المفتتات الصخرية بواسطة المياه المنصهره أسفل الثلج المتجمع فى الحلبات وتعمل هذه المفتتات هى الأخرى تبعا لاحتكاكها المستمر بأسطح الصخور على تعميق قاع الحلبات (شكل ١٣٤) . وقد واجهت هذه النظرية اعتراضان هما :

أ - أوضحت نتائج الأبحاث التى أجريت فى شقوق البرجشروند وفتحاتها فى مرتفعات اسكنديناوه وايسلند ، وسبتسبرجن ، أن كلا من المدى الحرارى اليومى والفصلى ضئيل جدا بحيث أنه من الصعب أن ينجم عن اتساع فتحات الشقوق تفتيت كتل الصخر كما جاء فى تفسير ويللارد جونسون .

ب - حيث يبلغ متوسط ارتفاع ظهر بعض الحلبات الجليدية نحو عدة مئات من الأقدام فإنه من الصعب كذلك تفسير تكوينها تبعا لتأثير فتحات الشقوق والفوالق التى لا يبلغ عمقها أو امتدادها فى كتل الجليد أبعد من ١٠٠ قدم . وإذا تكونت الشقوق على أعماق أبعد من ذلك فإنها غالبا ما تكون شقوقا مغلقة ممتلئة بالرواسب والمفتتات الصخرية .



(شكل ١٣٤) نشأة الحلبات الجليدية حسب تفسير جونسون

---

(1) Johnson, W , "The profile of maturity in Alpine glaciers", Jor Jour. Vol. (1904), p. 575.

٢ - تفسير فون لويس *W. Von Lewis*:

أكد فون لويس فى عامى ١٩٣٨ (١) و١٩٤٩ (٢) ، أن المياه المنصهرة من الجليد المتجمع فى مقعرات الحلبات الجليدية تنساب إلى جوف الصخر وقد تبلغ أعماقا بعيدة تفوق عمق فتحات البرجشروند . وأوضح كذلك أن عملية تتابع حدوث تجمد هذه المياه السفلية العميقة وانصهارها أسفل الارسابات الجليدية هى المسئولة عن تكوين قاع الحلبات الجليدية وتشكيل جدرانها وظهرها . ويتعرض لظهر الحلبات الجليدية الذى يرتفع منسوبه فوق مستوى تجمع الجليد لكل من فعل التجوية والتعرية الشديدة ، وعلى ذلك تتأثر كتل الصخر بالشقوق الكثيفة التى تعمل على تكوين مناطق ضعف جيولوجية . إلا أن «لويس» أكد أن حدوث عملية تجمد المياه وانصهارها فى الفتحات الصخرية بظهر الحلبات الجليدية ضعيف نسبيا ، ويعزى تساقط الصخور والتراجع الخلفى لظهر الحلبات إلى أثر انزلاق الجليد نفسه من أعالى ظهر الحلبات صوب الانحدارات السفلى . وينجم عن حدوث هذه العملية الأخيرة حسب رأى لويس تقسيم الكتل الصخرية وانهيار أجزاء كبيرة منها إلى المنحدرات السفلى .

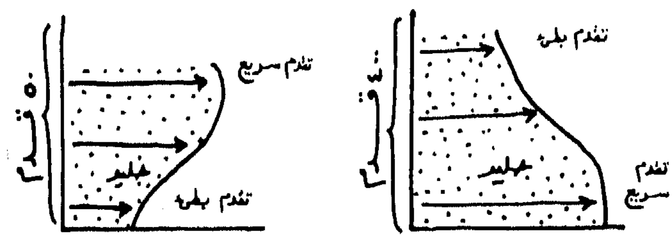
أما فيما يختص بتكوين قاع الحلبات الجليدية المقعر العميق ، فلم يقدم أى تفسير مقبول حتى الوقت الحاضر . ومن أهم الآراء التى رجحت فى هذا الصدد هى تلك المعروفة باسم نظرية التمدد أو الانسياب الجليدى *Extrusion Flow* والتى أكدها كل من دومرست *Demorest* فى أمريكا ، وشتريف بيكر *Streiff-Becker* فى سويسرا ، وقد استنتج هذان الباحثان أن الأجزاء العليا من الجليد المتجمع فى مقعرات الحلبات الجليدية تكون عادة شديدة التماسك

---

(1) Von Lewis, W., "A-meltwater hypothesis of cirque formation" Geological Mag. vol. 75 · 249 - 265.

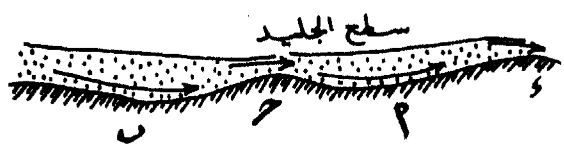
(2) Von Lewis, W., "The function of meltwater in cirque formation" Geographical Review. vol. 39 (1949), 110 - 128.

وصلبة ، بينما الطبقة السفلى للجليد على عمق نحو ١٠٠ قدم ، تتميز بكونها ضعيفة التماسك وسهلة التمدد والانسياب نتيجة للضغط الواقع عليها من الطبقات العليا للجليد . واعتقد كل من هذين الباحثين كذلك أنه اذا كان الجليد المتجمع فى مقعرات الحلبات كبير السمك ، فإن أسرع أجزائه تتمثل فى المناطق القريبة من قاع الحلبات ، بينما إذا كان الجليد رقيق السمك فإن سرعة امتداده تزداد فى الجليد السطحى ، أو بمعنى آخر فى الطبقات العليا من الجليد (شكل ١٣٥) .



(شكل ١٣٥) اختلاف سرعة الجليد فى الطبقات العليا والسفلى منه تبعا لاختلاف سمكه

واذا طبقت مفاهيم هذه النظرية على كتل الجليد التى تتحرك فوق أرضية وادى مضرس السطح ، فيتميز الجليد المتجمع فى المقعرات التى تمثل فى (شكل ١٣٦ منطقتى أ ، ب) بكونه سريع التقدم فى الأجزاء السفلى القريبة من القاع ، بينما فى الأراضى المحدبة التى يقل فيها سمك الجليد (شكل ١٣٦ ، منطقتى جـ ، د) تكون سرعة الجليد أشد بالقرب من سطح الجليد نفسه .



(شكل ١٣٦) اختلاف سرعة الجليدى فى الأراضى المضرسة

وعلى الرغم من مرونة هذا التفسير السابق الذى تقدم به فون لويس إلا أن هناك بعض نقاط الضعف التى واجهت نظريته ومنها أن نتائج معظم القياسات التى أخذت لتحديد سرعة الجليد ومعرفتها فى أجزاء واسعة من ألسكا وجرينلند وسبتسبرجن واسكنديناوه ، لم تثبت فعلا اختلاف تمدد الطبقات العليا والسفلى للجليد . هذا بالاضافة إلى أنه اذا كان الجليد أكبر سرعة فى طبقاته السفلى كما رجح لويس ، إذن فلابد وأن نتساءل عن الأسباب التى منعت نقل جليد الطبقات العليا فى نفس الوقت مع الجليد المتمدد فى الطبقات السفلى .

وعلى ذلك فقد عدل فورن لويس نظريته السابقة عند دراسته لنشأة الحلبات الجليدية فى مرتفعات النرويج ، ورجح أن الجليد المتجمع فيها يتعرض لعمليات الانزلاق الرجعى خاصة على طول أسطح ظهر الحلبات الشديد الانحدار . ويساهم هذا الانزلاق بدوره فى تعميق قاع الحلبات ، وجعل ظهرها شديد الانحدار ، هائل الارتفاع ، بينما تتميز مقدمة الحلبات بكونها بسيطة الانحدار حيث تنحدر انحداراً تدريجيا نحو باطن الوادى الجليدى وقد أشار لويس كذلك بأن عمليات الانزلاق الرجعى فى كتل الجليد تشابه تماما حدوث عمليات الانزلاق الرجعى للأرض *Rotational Landslides* .

وتقدم الباحث «ناى *Nye*» عام ١٩٢٥ (١) ، بنظرية جديدة عرفت باسم نظرية الانسياب الجليدى *Glacial Flow* . وقد فرق هذا الباحث بين ما أطلق عليه اسم الانسياب المتمدد *Extending Flow* والانسياب المضغوط *Compressive Flow* . وأوضح أن الانسياب المتمدد يساعد على زيادة سرعة الجليد فى الطبقات السفلى خاصة فى المناطق المحدبة من سطح الأرض ، كما هو مبين فى منطقة ب (شكل ١٣٧) بينما يعمل الانسياب المضغوط على تدنى سرعة الجليد فى الطبقات السفلى منه خاصة فى المناطق المقعرة من سطح الأرض ، كما هو مبين فى منطقتى أ ، جـ .

(1) Ney, J. F., "The mechanics of glacier flow". Jour Glaciology, vol. 2 (1952), 82 - 93.



(شكل ١٣٧) اختلاف سرعة طبقات الجليد حسب تفسير «ناى»

وفى المناطق المتجمع فيها الجليد بمنطقتى أ ، جـ ، حيث تتعرض الأجزاء السفلى منه لفعل الضغط الواقع من الجليد العلوى ، ينجم عن ذلك تحرك الجليد من أسفل إلى أعلى ويؤدى ارتفاع الجليد نتيجة للضغط الواقع عليه بهذا الشكل إلى تكوين صدوع فى طبقات الجليد *Thrust or Reversed Faults* أما إذا تجمع الجليد الرقيق السمك فى المناطق المحدبة من قشرة الأرض كما هو الحال عند منطقة (ب) ، يتحرك الجليد تدريجياً من أعلى إلى أسفل وذلك بعكس الحال فى منطقتى أ ، ب ، جـ . وينجم عن هذه الحركة الأخيرة تكوين صدوع عادية بسيطة *Normal Faults* فى طبقات الجليد .

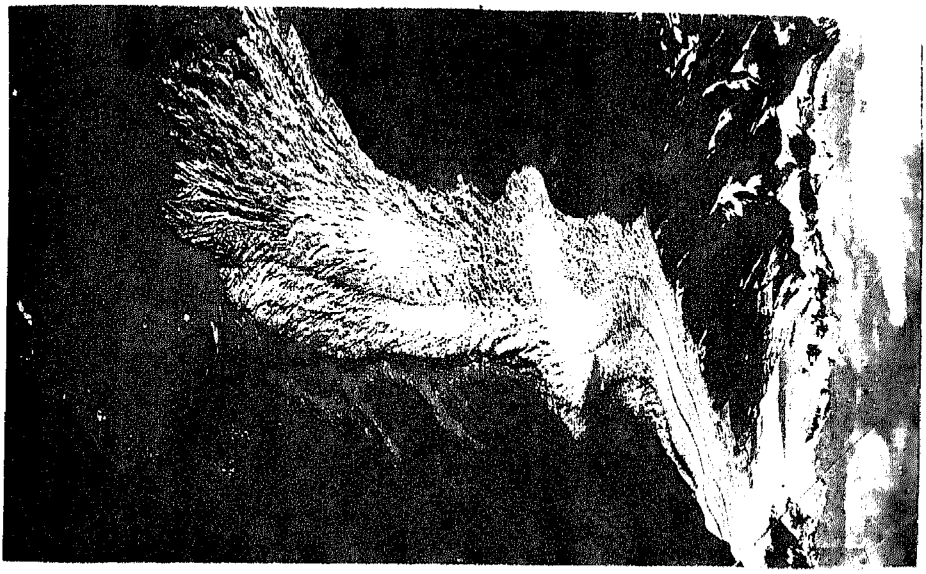
ومهما اختلفت الآراء فيما يختص بنشأة الحلبات الجليدية ، وتكوين ظاهرة البرجشروند ، فإن هذه الحلبات تعد من بين أهم الظاهرات الجيومورفولوجية التى تتكون فى المناطق الجبلية المرتفعة . وعندما تتعرض الحلبات لكل من فعل التعرية الجليدية والهوائية وتساقط الصخور وعمليات الانزلاق ، فإن ظهر الحلبات الجليدية يأخذ فى التراجع الخلفى بمرور الوقت ، وتتسع أرضية الحلبة وجوانبها . وفى مرحلة متأخرة تبعا لتوالى تفتيت صخور ظهر الحلبة واتساع جوانبها ، تنكمش مساحة الأراضى الفاصلة بين الحلبات المجاورة ، وتتكون حواجز جبلية مضرسة مشرشرة ، وقمم جبلية لم تطرأ عليها بعد عمليات التآكل التدريجى ، ويطلق على تلك الحافات الجبلية البارزة ، والتى تشبه عادة ألسنة السيوف الحادة اسم الحافات المسننة المشرشرة *Arêtes* ، أما القمة العليا فتبدو على شكل رأس هرم أو قرن جبلى *Horn* ، . ويوضح (شكل ١٣٨) ، مراحل تطور تكوين كل من ظاهرات الحلبات الجليدية والسيوف الجبلية البارزة المشرشرة ، والهرم أو القرن الجبلى الجليدى .



(شكل ١٣٨) مراحل تطور تكوين كل من الحلبات الجليدية وأسنة السيوف أو المنشار الجبلية البارزة ، والهرم أو القرن الجبلى الجليدى

الأودية الجليدية :

يتعرض الجليد - فى الثلاجات - تبعا لانسيابه البطئ بمساعدة فعل الجاذبية الأرضية للتقدم التدريجى صوب المنحدرات السفلى والأراضى المنخفضة ، وعلى ذلك يكون لنفسه أودية محددة الجوانب يتحرك فوق أرضيتها ويحتك بصخور جوانبها ويقشطها ، ويعمل على تعميق هذه الأودية ، وتعرف الأخيرة باسم «الأودية الجليدية» . وأهم ما يميز القطاع العرضى للوادى الجليدى (لوحة ٧٥) ظهوره على شكل حرف *U* بخلاف الأودية النهرية التى تبدو قطاعاتها العرضية خاصة المراحل الأولى من نشأتها على شكل حرف *V* . أما الأودية الفرعية للنهر أو الوادى الجليدى الرئيسى فهذه تظهر غالباً على شكل أودية معلقة *Hanging Valleys* حيث لا يصل مستوى قاعدتها إلى المستوى الذى وصل إلى الوادى الرئيسى . وقد يتشكل قاع الأودية الجليدية بعدة ظاهرات جيومورفولوجية من مكان إلى آخر تبعا لظروف متعددة . ومن أهم هذه الظاهرات تلك المعروفة باسم الأحواض المغلقة *Enclosed Basins* والمدرجات الجليدية *Glacial Terraces* والصخور الغنمية *Roches Moutanneess* .



(لوحة ٧٥) نموذج للأودية الجليدية حيث يبدو جانبا الوادى على شكل حرف (U)

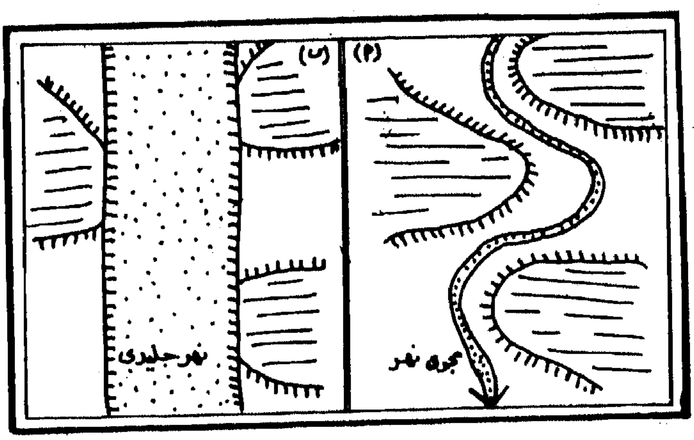
وتجدر الاشارة إلى أنه ليست كل القطاعات العرضية للأودية التى تبدو على شكل حرف *(U)* تعتبر أودية جليدية ، فمثلا هناك بعض الأودية فى الهضاب الطباشيرية والجيرية (والتى لم تتأثر بالجليد اطلاقا) قد تبدو قطاعاتها العرضية على شكل حرف *(U)* ، هذا بالاضافة إلى أن جوانب أوديتها قد تتميز بتكوين كل من المدرجات الصخرية والأودية المعلقة كذلك . وعلى ذلك فإن أهم ما يميز الأودية الجليدية ليس فقط مظهرها الجيومورفولوجى العام ، ولكن خصائص الرواسب وتركيبها الصخرى وكيفية تراكمها فى قاع هذه الأودية .

ويتميز مجرى النهر الجليدى بكونه قليل المنعطفات ، بل يمتد عادة امتدادا طوليا ، بخلاف الحال مثلا فى المجارى النهرية ، وتعد كل هذه الظاهرات السابقة الذكر والتى تشكل المظهر الجيومورفولوجى العام للوادى الجليدى (الامتداد الطولى للمجرى الجليدى والألسنة المقشوطة *Truncated Spurs* والأودية الفرعية المعلقة وشكل جوانب الوادى وشدة انحدارها) نتائج كل من

النحت الرأسى والجانبى للجليد . فالألسنة الأرضية المقشوطة كانت فى بداية نشأتها أراضى مرتفعة تقع بين أودية نهرية صغيرة ، ثم تعرضت للاحتكاك بجوانب النهر الجليدى الذى عمل على نحت بروزاتها وألسنتها المتداخلة *Interlocking Spurs* (شكل ١٣٩) .

أما الأودية الفرعية المعلقة وكذلك أعالى الوادى وجوانبه الشديدة الانحدار والتضرس فهى نتاج أى من عمليات النحت الرأسى أو الجانبى أو بفعل كليهما معا . ويتم النحت الرأسى للجليد بواسطة فعل التآكل والاحتكاك الجليدى *Glacial Scour* ، والفعل الناتج عن الضغط فوق جليد الطبقات السفلى تبعا للثقل الواقع فوقه . أما النحت الجانبى للجليد فهو نتاج توالى حدوث عملية تجمد المياه وانصهارها فى كتل الجليد وأثر ذلك على زيادة كثافة الشقوق واتساع فتحاتها وتساقط صخور جوانب الوادى الجليدى .

وعند نهاية عصر البلايوستوسين تعرضت الأودية الجليدية لكل من فعل الجليد (خلال الفترات الجليدية) والمجارى النهرية (خلال الفترات غير الجليدية) . وعلى ذلك يظهر من دراسة القطاعات العرضية للأودية الجليدية أن نشأة أجزائها العليا ترجع إلى فعل النحت الرأسى والجانبى للجليد أما

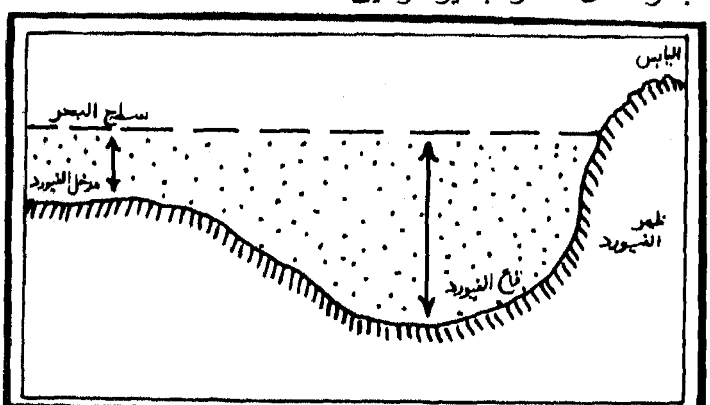


(شكل ١٣٩) تشكيل مناطق الأودية النهرية المتداخلة ، وتكوين الألسنة المقشوطة

الجوانب السفلى للوادى وقاعه فقد تكشلت بفعل المجارى النهرية ، التى عدلت الظاهرات الجليدية الأصلية وأصبحت هذه الظاهرات الأخيرة يطلق عليها تعبير «ظاهرات جليدية نهرية» ، وتعد كل من ظاهرات المدرجات الجليدية والصخور الغنمية نتاج التعرية الجليدية فى صخور غير متجانسة التكوين الجيولوجى . فتتكون مثل هذه الظواهر إذا اعترض مجرى النهر الجليدى صخور صلبة متعاقبة فوق أخرى لينة ، وحيث تتآكل الأخيرة بدرجة أسرع من الأولى ، فينجم عن ذلك تكوين مدرجات جليدية أو صخور غنمية الشكل .

ثانيا : بعض الظاهرات الجليدية على طول السواحل الجبلية :

وإذا تراكم الجليد أو تجمعت غطاءاته على طول السواحل الجبلية المرتفعة وانساب إلى البحر المجاور فإن أهم ما ينجم عنه فى هذه الحالة تكوين تلك الظاهرة المعروفة باسم الفيوردات *Fijords* . وهى عبارة عن أودية جبلية غاطسة تحت سطح البحر . وقد تبين من الدراسات التى أجريت فى قاع الفيوردات أن أعماق المياه فيها تعد هائلة العمق بالقرب من خط الساحل وضحلة نسبيا عند مداخل الفيوردات (شكل ١٤٠) . ويعزى تكوين هذا الشكل الخاص للفيوردات إلى فعل نحت الجليد الرأسى السريع . ومن المعروف كذلك أن عمق المياه فى الفيوردات أعمق بكثير من الارتفاع الذى طرأ على مستوى سطح البحر خلال عصر البلايوستوسين .



(شكل ١٤٠) قطاع يوضح اختلاف أعماق المياه فى باطن الفيورد وعند مدخله

وكما سبقت الاشارة من قبل فإن ارتفاع منسوب سطح البحر منذ نهاية البلايوستوسين (تبعا لانصهار الجليد) ليس له تأثيرا كبيرا فى نشأة الفيوردات بالمناطق الجبلية الجليدية .

ويتضح من دراسة التوزيع الجغرافى للسواحل التى تشكلت بتكوين الفيوردات ، أن الأخيرة تتكون عادة على طول السواحل الجبلية الساحلية المرتفعة المواجهة للاتجاه الغربى . ومن بين أمثلة ذلك سواحل النرويج وكولومبيا البريطانية ، وجنوب غرب شيلى ، والسواحل الغربية فى اسكتلندا، والسواحل الغربية لنيوزيلند . وحيث إن الجليد قد تجمع فوق المنحدرات الغربية بكميات أكبر من تلك فوق المنحدرات الأخرى ، كما وأنه تعرض فى نفس الوقت للانصهار السريع (بفعل الرياح الشديدة) على طول هذه المنحدرات ، نجم عن ذلك انصهار الجليد بسرعة من مصادره العليا فى المقعرات الجبلية وجريان المياه بشدة نحو البحر . وعندما تتجه المياه المنصهرة صوب البحر تفقد سرعتها الشديدة عند مقدمة الفيورد ، ومن ثم فإن فعل النحت الرأسى للمياه المنصهره عند الساحل أو بالقرب من خط الشاطئ أقوى بكثير منه فى البحر نفسه أو بمعنى آخر يقل أثر تعميق المياه لقاع الفيورد كلما اتجهنا صوب البحر .

وعلى ذلك فإن الفيوردات ما هى إلا أودية نهرية ساحلية تكونت فى مناطق جبلية تواجه سفوحها الاتجاه الغربى ، ثم تعرضت لفعل الجليد فى عصر البلايوستوسين الذى تراكم على الأجزاء الدنيا من هذه الأودية وعمل على تغطيتها تماما . ونجم عن انصهار الجليد وسرعة جريان المياه المنصهرة بشدة النحت الرأسى الشديد لهذه الأودية بالقرب من الساحل وتكوين أرضية الفيوردات المختلفة العمق وعملت جبال الثلج الطافية على زيادة تعميق أرضيات الفيوردات.

ثالثا : بعض الظاهرات الجليدية فى المناطق السهلية المنخفضة :

عندما تنحدر الأنهار الجليدية من المناطق المرتفعة إلى السهول المنخفضة يتسع سطح الجليد ويزداد امتداده بينما يقل سمكه ، ويتخذ شكل غطاء جليدى أو فرشات جليدية هائلة الامتداد . وتعمل هذه الغطاءات الجليدية على تكوين ظاهرات جيومورفولوجية متنوعة يتركز الكثير منها فى الأراضى السهلية المنخفضة ويرجع نشأة معظمها إلى فعل الارساب الجليدى . وتنقل هذه الغطاءات الجلاميد وفتات المفتتات الصخرية ثم ترسبها بصور مختلفة فى المناطق السهلية المنخفضة ، وتتلخص أهم هذه الظاهرات فيما :

١ - الطفل الجليدى وفتات الصخور :

تعمل الغطاءات الجليدية أثناء انسيابها فوق الأراضى المنخفضة على احتكاكها بالصخور ونقل الفتتات الصخرية إلى مسافات طويلة تبعد كثيرا عن مراكزها الأصلية . وعندما تتعرض الغطاءات الجليدية للانصهار التدريجى تتراكم فرشات الرواسب فوق سطح الأرض وتغطى كل المقعرات الثانوية ويطلق عليها «رواسب الطفل الجليدى» وتتألف هذه الرواسب من حبيبات صخرية مختلفة الشكل والحجم وهى غالباً ما تكون مقشوطة ومجدبة الجوانب وتمتزج بواسطة الرمال . ويقصد بالطفل الجليدى بمعناه الخاص الطين المختلط معه مفتتات الصخور الصغيرة *Boulder Clay* إلا أن هذا الطفل قد يتميز بكونه طفلا طباشيريا *Chalky Boulder Clay* أو طفلا فلنيتا *Finty Boulder Clay* أو مختلطا بمفتتات مختلفة من أنواع الصخور الأخرى . وتبعا لتحرك الغطاءات الجليدية وتقدمها مسافات طويلة تتعرض معظم المفتتات الصخرية لعملية الاحتكاك بسطح الأرض ، ومن ثم تتآكل حوافها ويصغر حجمها بالتدريج إلى أن تصبح على شكل رواسب صخرية ناعمة دقيقة الحبيبات وتتألف أساسا من الغرين والرمال الناعمة ويطلق عليها اسم الطحين أو الدقيق الصخرى *Rock Flour* .

ونعد دراسة رواسب المفتتات الصخرية والطفل الجليدى من بين أهم

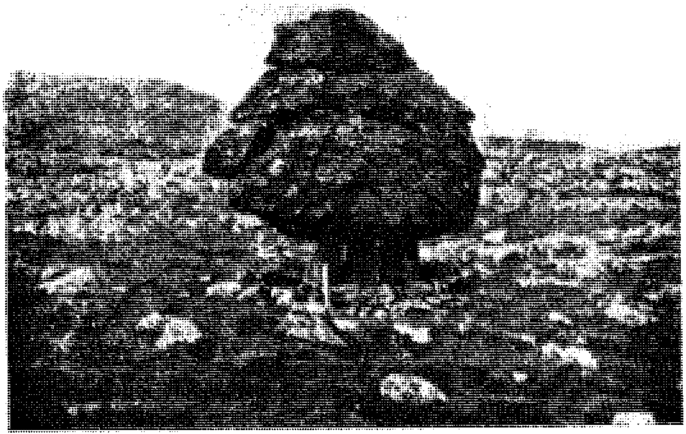
العوامل التى تساعد على معرفة اتجاهات سير الغطاءات الجليدية أو بمعنى آخر المناطق الأولية التى نشأت فيها ثم الطرق التى سلكتها أثناء تقدمها إلى أن أرسبت حمولتها . فتبين مثلا من دراسة أنواع الطفل الجليدى فى منطقتى لانكشير وشرق انجلترا أنها تتألف من مفتتات صخرية مصدرها الأصلى صخور شمال اسكتلند والكتل الجبلية الأركية القديمة فى اسكنديناوه . وعلى ذلك استنتج الباحثون أن الغطاءات الجليدية كانت ذات مصادر مختلفة ووصلت إلى شرق انجلترا آتية من الشمال والشمال الشرقى .

وتتركز رواسب الطفل الجليدى عادة عند الأطراف الحدية للغطاءات الجليدية حيث ينصهر الجليد ويتقهقر صوب منابعه ، وتترسب كميات هائلة من الرواسب والمفتتات الصخرية التى كانت تغطيها غطاءاته . ومن دراسة اتجاهات هذه المفتتات الصخرية *Stone Orientation* فى قطاعات الرواسب أمكن تحديد الاتجاهات التى أتت عن طريقها هذه الغطاءات الجليدية ، وتعمل رواسب الطفل الجليدى على تسوية سطح الأرض الأصلى وملء الأودية ومقعرات السطح بالرواسب ، أما السطح الناتج بعد تراكم هذه الفرشات الارسابية الجليدية فيبدو مستوياً أو قد يتشكل ببعض التلال المنخفضة ، وفى هذه الحالة الأخيرة يتميز بسطحه المموج .

٢ - الكتل الضالة :

تحمل بعض الكتل الضخمة الحجم من الصخور مع الغطاءات الجليدية وتنقل لمسافات بعيدة دون أن تتأثر كثيرا بفعل الاحتكاك مع سطح الأرض ، وقد لا تتعرض كثيرا للتعرية الشديدة . وبعد تقهقر الجليد إلى الوراء تبعا لعمليات انصهاره تتبقى هذه الكتل الصخرية إما على شكل صخور معلقة تتخلف فوق السفوح الجبلية أو على شكل ما يسمى بالكتل الضالة *Erratic Blocks* وذلك عندما تتبعثر فى بطون الأودية وفوق الأراضى السهلية المنخفضة المنسوب . ومما يؤكد نقل هذه الكتل الصخرية بفعل الجليد ما يلى :

(أ) عدم تشابه التكوين الصخرى للكتل الضالة بنوع الصخور المحلية التى



(لوحة ٧٦) الكتل الجليدية الضالة ـ كتل صخرية رملية سيلورية (لا تنتمى لصخور المنطقة التى توجد فيها) منتشرة فوق تكوينات كربونية ـ يوركشير ـ انجلترا

ترتكز فوقها . أو بمعنى آخر أن هذه الكتل ليست مشتقة أو متحللة من الصخور السفلى ، بل نقلت من مناطق أخرى بعيدة عن المناطق التى توجد فيها حالياً (لوحة ٧٦) .

(ب) تتشكل الكتل الصخرية الضالة بالخدوش والحزوز الكثيفة *Striation* والتى تظهر خاصة على جوانب الكتل وأسطحها ، وهذه إن دلت على شئ فإنما تدل على أن الكتل الصخرية نقلت لمسافات طويلة بواسطة الجليد .

وقد عثر الباحثون على كثير من الكتل الصخرية الضالة فوق أجزاء متفرقة بمنطقتى سكاربره *Scarbrough* ولينكلن *Lincoln* فى شرق انجلترا وكانت هده الكتل تتألف من الصخور النارية مثل البازلت والجرانيت والصخور المتحولة مثل النيس والشست وكذلك الرسوبية مثل الحجر الرملى ، بينما تتكون الصخور الأصلية لهاتين المنطقتين من الحجر الجيرى المغنيسى . وعلى ذلك اتضح أن هذه الكتل الصخرية نقلت مس مناطق أخرى تبعد كثيرا عن شرق انجلترا بواسطة فعل الجليد .

٣- الركامات الجليدية :

ينقل الجليد كميات هائلة من المفتتات الصخرية وينحصر معظمها فى الوادى الجليدى إلى أن تترسب هذه الرواسب بأشكال جيومورفولوجية مختلفة . ويطلق على الرواسب الجليدية التى تحملها الأنهار الجليدية اسم «الركامات الجليدية» *Glacial Moraines* . وتتألف هذه الرواسب من مفتتات صخرية مختلفة الحجم والشكل ويتنوع تكوينها الصخرى تبعا لتنوع صخور المناطق المختلفة التى اشتقت منها والطرق التى سلكتها .

وتختلف رواسب الأنهار الجليدية عن غيرها من الرواسب (خاصة النهرية) فى أنها عبارة عن أكوام ارسابية غير متجانسة تختلط فيها الجلاميد الكبير بالحصى والحصباء والرمال والغرين الدقيق الحجم . كما أن معظم الحبيبات الصخرية مقشوطة الجوانب بفعل حدوث عمليات التجمد والنحت الجليدى، ومن ثم لا تشبه هذه الرواسب ، تلك التى ترسبها الأنهار حيث أن الأخيرة تترسب على شكل فرشات متعاقبة بعضها فوق البعض الآخر ، كما أنها لا تشبه الرواسب البحرية التى تتجمع فوق قاع البحر تبعا لاختلاف أعماق المياه من جهة ونوعية الرواسب ومصادرها من جهة أخرى . ويرجع السبب فى ذلك إلى أن سطح مجرى النهر الجليدى يستوعب كل ما يقع وينزلق من صخور جوانبه هذا بالاضافة إلى أن قاع النهر الجليدى يعمل على اضافة مواد صخرية جديدة متنوعة تبعا لاحتكاكه بصخور الأراضى التى ينساب فوقها . وجرى العرف على تصنيف الركامات الجليدية إلى أربع مجموعات مختلفة تبعا لاختلاف مواقعها بالنسبة للنهر أو الوادى الجليدى وتشمل :

(أ) الركامات الجانبية *Lateral Moraines* :

تتمثل أهم مصادرها فيما يلى :

(أ) فتات الصخر الناجمة تبعا لفعل احتكاك الجليد بجوانب الوادى الجليد خاصة على طول نطاق الصخور اللينة والضعيفة التماسك .

(ب) تعرض جوانب الوادى الشديدة الانحدار لتوالى عمليات تجمد المياه

وانصهارها ، وبالتالى تتسع الشقوق والفوالق الصخرية ، ويتيسر فعل التعرية فى نحت الصخور واضافة مواد جديدة إلى الرواسب الجانبية للنهر الجليدى .

(جـ) تراكم المواد الارسابية تبعا لحدوث عمليات تساقط الصخر ، وانزلاق الأرض والهيارات الجليدية على طول الجوانب الشديدة الانحدار للنهر الجليدى .

وتختلف المواد التى تتألف منها الركامات الجانبية وسمكها من مكان إلى آخر حسب نوع الصخر الذى اشتقت منه هذه المواد . وعلى ذلك لا تظهر الركامات الجانبية عادة على شكل خطوط طولية جانبية متصلة الامتداد بل قد تكون متقطعة فى موقع ، وقد لا تظهر أحيانا فى بعض المواقع الأخرى من جانبى النهر الجليدى . وعندما تتعرض النطاقات الجليدية للانصهار والتقهقر (منذ أواخر عصر البلايوستوسين) تتشكل هذه الرواسب بفعل المجارى النهرية التى تعمل على تفتيت حواجز الرواسب وازالة معالمها (شكل ١٤١) .

(ب) الركام الأوسط *Medial Moraine* :

يتكون هذا الركام عندما يلتحم ركامان جانبيان مع بعضهما البعض



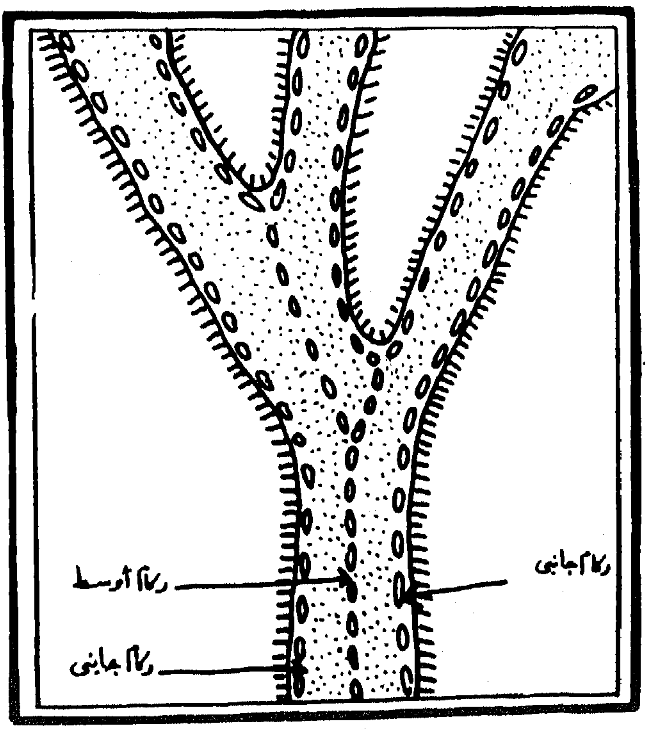
(شكل ١٤١) صورة مجسمة للوادى الجليدى - لاحظ رواسب الركامات الجانبية والركام الأرضى

نتيجة لاتصال أكثر من مجرى نهر جليدى فى مجرى واحد . وينجم عن ذلك تكوين أشرطة طولية مستقيمة من الرواسب تتوسط المجرى الجليدى (شكل١٤٢) .

(جـ) الركام النهائى *End Moraine* :

عندما يتعرض النهر الجليدى إلى التراجع خلفيا كما كان الحال خلال الفترات غير الجليدية ، تتخلف كميات هائلة من الرواسب عند النهايات الهامشية للمجرى الجليدى . وفى هذا الموقع الهامشى تتراجع مقدمات النهر الجليدى تارة وتتقدم تارة أخرى حسب تراكم الجليد فى واديه وتعرف الرواسب الحدية هنا باسم الرواسب التراجعية *Recessional Moraines* أو بالركامات النهائية .

وتتألف الركامات النهائية من الجلاميد الصخرية الكبيرة الحجم وقد يختلط



(شكل ١٤٢) بعض أنواع الركامات الجليدية

معها حبيبات صخرية صغيرة الحجم ، وبعد انصهار الجليد وتقهقره منذ أواخر عصر البلايوستوسين ، استخدم الباحثون هذه الرواسب لتحديد النهايات الحدية التى وصلت إليها الغطاءات الجليدية من ناحية والطرق المختلة التى سلكتها هذه الغطاءات حتى وصولها إلى تلك البقاع من ناحية أخرى . وتتشكل المنطقة الهامشية للنهر الجليدى عادة بتكوين بعض البحيرات الحوضية الجليدية التى تنجم عن انصهار الجليد وتجمع المياه فى المقعرات السطحية أو فى الأودية التى تنحصر بين نهايات الجليد ومناطق ما بين الأودية المرتفعة . هذا إلى جانب بعض الظاهرات الثانوية الأخرى مثل المراوح الفيضية الارسابية الجليدية ومجارى الأنهار الضعيفة والتى تتميز بكثرة تعاريجها ومنعطفاتها *Braided Streams* ذات التصريف المائى المجدل أو المضفر . (شكل ١٤٣) .

(د) الركام الأرضى *Ground Moraine* :

يطلق تعبير الركام الأرضى على مجموعة الرواسب الجليدية التى تحتل الأجزاء السفلى من الغطاء الجليدى النهرى والقريب من سطح الأرض . وتختلف الرواسب وتتنوع أحجامها وأشكالها من مكان إلى آخر على طول أجزاء المجرى الجليدى الواحد كما تختلف كذلك من حيث الهيئة والمظهر فى حالة تكوينها أسفل النهر الجليدى أو أسفل الغطاءات الجليدية فوق المناطق السهلية ، وتتميز رواسب الركام بحجمها الدقيق . وتظهر الركامات الأرضية على سطح الأرض بعد تقهقر الجليد وتراجعه خلفيا تبعا لتغير المناخ وارتفاع درجة الحرارة .

٤ - الرواسب الجليدية النهرية *Fluvio - Glacial Deposits* :

عندما تتعرض كل من الأنهار والغطاءات الجليدة للانصهار السريع تبعا لارتفاع درجة الحرارة كما كان الحال خلال الفترات غير الجليدية . تتكون بعض المجارى المائية خاصة أسفل الغطاءات الجليدية وفى قاع الوادى الجليدى نفسه . وتقوم هذه المجارى المائية بالدور الذى تقوم به الأنهار العادية فى المناطق الأخرى غير الجليدية ، ومن ثم تعمل هذه الأنهار على



(شكل ١٤٣) بعض الظاهرات الجيومورفولوجية التى تتكون عند نهايات النهر الجليدى

تشكيل الرواسب الجليدية النهرية وإرسابها بشئ من التناسق بحيث تبدو فى صورة شبه طباقية . وتساهم هذه الرواسب فى تكوين أشكال جيومورفولوجية على سطح الأرض من بينها :

(أ) رواسب الإسكر *Esker* :

أصل هذا التعبير مستمد من كلمة *Eskir or Eiscir* الايرلندية والتى ترمز إلى التلال الطولية المستوية السطح الناتجة عن تجمع الرواسب الجليدية النهرية ويطلق على مثل هذه التلال فى النرويج والسويد اسم «أوسر *Osar*» . وتتكون رواسب الأسكر من الحصى وفتات الصخور المختلطة مع الأتربة

والرمال . وهي تشبه رواسب الطفل الجليدى من حيث التكوين الجيولوجي إلا أن الحبيبات الصخرية في رواسب الاسكر تتميز باستدارتها وشكلها البيضاوى أو الكروى وسطحها الأملس مما يدل دلالة واضحة على أثر فعل التعرية المائية . وقد تتكون رواسب الأسكر على شكل فرشات يختلف كل منها عن الطبقة التي تقع فوقها أو أسفلها من حيث التكوين الجيولوجي وشكل الرواسب وأحجامها . وهذا إن دل على شئ فإنما يدل على أن رواسب الاسكر لا ترجع نشأتها إلى فترة واحدة بل ترسبت خلال فترات متلاحقة .

وقد تبين من نتائج الدراسات الجيومورفولوجية لرواسب الاسكر في كل من الجزر البريطانية ، واسكنديناوه وشمال أمريكا الشمالية على أنها تتكون أسفل الغطاءات الجليدية أو في منطقة الاحتكاك بين قاع الجليد وسطح الأرض . وتعد هذه المنطقة الأخيرة من أكثر المناطق تأثرا بفعل انصهار الجليد *Nivation* عن غيرها من المناطق الجليدية الأخرى .

وتبدو رواسب الاسكر فوق سطح الأرض على شكل حافات جبلية ارسابية تتميز بما يلى :

١ - امتدادها الملتوى المتعرج .

٢ - تشابه انحدار جانبيها بحيث تبدو قطاعاتها العرضية متساوية أو متماثلة الجوانب *Symmetrical* .

٣ - تجمع رواسب هذه الحافات فوق بعض الظاهرات الجيومورفولوجية الثانوية لسطح الأرض والتي كانت موجودة قبل أن تغطى بالجليد ، ومن ثم تعد رواسب الاسكر حافات منطبعة *Superimposed* فوق رواسب السطح الأخرى .

ويقترح الأستاذ كوتون *C A. Cotton* (١) ، أن نشأة حواجز الاسكر المتلوية الامتداد والمتماثلة الجوانب قد تعزى إلى أى من :

١ - انصهار الجليد أسفل الرواسب وانسياب المياه فى مجارى نهرية عميقة ، ونتيجة لتساقط المفتتات الصخرية وتجمع الحصى والحصباء تتكون حواجز الاسكر الجليدية فى نفس الوقت الذى تشكل فيه المياه عملية تنظيم ارساب المفتتات الصخرية .

٢ - تجمع بعض رواسب الطفل الجليدى فى الشقوق الطولية ، وكلما اتسعت فتحات الشقوق ، ازداد حجم هذه الرواسب فى نفس الوقت الذى تتشكل فيه بفعل المياه المنصهرة . ومن ثم تظهر الرواسب على شكل حواجز تلالية طولية .

(ب) رواسب الكام *Kames* :

تعبير «كام *Kame*» اسم اسكتلندى محلى ، يستخدمه الأهالى بحيث يرمز إلى نفس المعنى الذى يستخدم فيه تعبير «أسكر *Eskers*» فى ايرلندا . غير أن رواسب الكام تختلف عن رواسب الاسكر بما يلى :

١ - ظهورها على شكل قباب صغيرة محدودة الارتفاع ومتناثرة فوق سطح الأرض .

٢ - عدم انتظام عملية ارساب فتات الصخور والحصى فيها كما هو الحال فى رواسب الاسكر .

٣ - تجمع رواسبها فوق أسطح الجليد خاصة فى بعض الحفر أو فى الفتحات الواسعة للشقوق .

وقد تظهر رواسب الكام كذلك على شكل مدرجات إرسابية جانبية تنجم عن أثر تراكم الرواسب الجليدية النهرية على جانبى النهر الجليدى . وتتألف

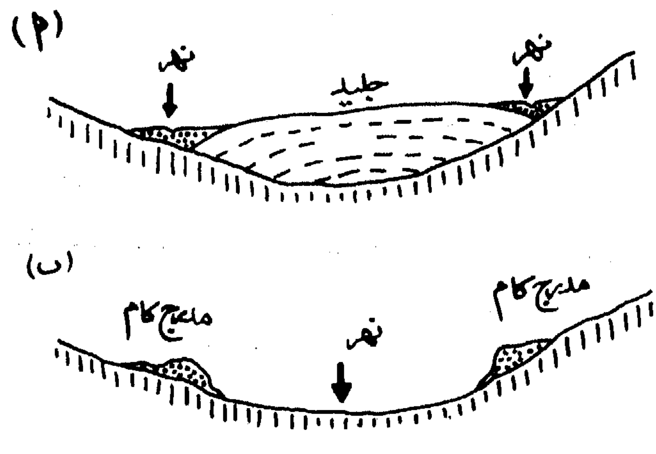
---

(1) Cotton C A., "Geomorphology" New Zealand (1952), p. 345

الرواسب فى هذه الحالة من الرمال اللزجة المشبعة بالمياه ، ويختلط بها كثير من الحصى والحصباء المستدير الشكل (شكل ١٤٤) . واذا تصادف تجمع رواسب الكام فوق أجزاء ثابتة من الغطاءات الجليدية ثم تعرضت الأخيرة للانصهار التدريجى ، ترتفع رواسب الكام إلى أعلى وتظهر على شكل قباب تلالية مستدير الشكل . وقد تصنف رواسب الكام إلى مجموعات مختلفة حسب ظروف المنطقة التى تكونت فيها واستنتج الباحثون أن رواسب الكام التى تنتشر فى جنوب غرب ايرلند ترجع نشأتها إلى تجمعها فى مسطحات مائية أو بحيرات مستنقعية ضحلة ، بينما تلك فى السهول الوسطى باسكتلند ، ترجع نشأتها إلى تجمع الرواسب على جانبى الأنهار الجليدية وأدت إلى تكوين مدرجات من رواسب الكام .

٥ - الكثبان أو التلال الجليدية المستديرة الشكل *Drumlins*:

يطلق تعبير الكثبان الرملية على تلك المجموعة من الرواسب الجليدية التى تظهر على شكل تلال كثيبية الشكل بعد عملية تقهقر الجليد وتراجعه خلفيا ، وتتألف هذه التلال من رواسب جليدية قوامها الطفل والمفتتات الصخرية المعروفة باسم *Till* . ويتضح من دراسة أشكال هذه المفتتات أثر فعل المياه فى تشكيل أسطحها المستوية الملساء ، وشكلها البيضاوى . وكما هو الحال فى



(شكل ١٤٤) تكوين مدرجات الكام

رواسب الإسكر فإن رواسب الكثبان الجليدية تكونت كذلك أسفل الجليد بمساعدة فعل المياه المنصهره . وتتكون الكثبان الجليدة عادة فى مجموعات تحتل مساحات واسعة الامتداد تميز المنطقة التى تتكون فيها بسطح ممرج . وحيث أن الكثيب الجليدى تندفن جذوره فى الرواسب العليا لسطح الأرض . بينما تظهر أعاليه البيضاوية الشكل فوق سطح الأرض ، لذا عرف سطح الأرض الذى تشغله هذه الكثبان الجليدى باسم «سطح سلال البيض» *Basket or Eggs Relief* . وتختلف الكثبان الجليدية فيما بينها من حيث الحجم والارتفاع ويتراوح متوسط ارتفاع هذه الكثبان من ١٠ إلى ١٠٠ متر فوق سطح الأرض المجاور .

وتتكون الكثبان الجليدية على شكل نطاقات طولية تمتد عادة مع الامتداد العام لحركة الغطاءات الجليدية . وتنتشر هذه الكثبان فى السهول المستوية السطح بمنطقة البحيرات العظمى بالولايات المتحدة الأمريكية حيث تبدو على شكل تلال قبابية متساوية الجوانب ، ملساء السطح . وتشغل الكثبان الجليدية فى المرتفعات الألبية بأوربا المناطق الحوضية السهلية والأحواض الجبلية *Intermountain Basins* ، ومقدمات الجبال ، وقد ترتبط مواقعها أحيانا بالركامات النهائية للجليد .

وتتشابه الكثبان الجليدية مع رواسب الركامات الأرضية *Ground Moraines* من حيث النشأة ، حيث يتكون كل منهما أسفل الجليد بفعل انصهاره ، الا أن هناك نقطتين هامتين تميز كل منهما عن الآخر وهما :

(أ) يعد فعل التعرية المائية فى تشكيل رواسب الكثبان الجليدية أشد أثرا منه فى حالة رواسب الركامات الأرضية .

(ب) تتكون رواسب الكثبان الجليدية تحت نطاقات جليدية متحركة بينما رواسب الركامات الأرضية تترسب فى القاع مع تقهقر الجليد بعد تعرضه للانصهار .

وتشغل الأراضى المقعرة التى تقع فيما بين الكثبان الجليدية بحيرات

ضحلة تتكون حديثا بفعل الأمطار الساقطة وتجمع المياه فيها .

وهناك مجموعة أخرى من الكثبان الجليدية تنشأ فوق الأراضى الصخرية المضرسة ، ومن ثم تتميز بعدم انتظام أشكالها أو امتدادها ، وتعرف باسم «الكثبان الصخرية الجليدية» *Rock Drumlins* . وعندما تتعرض رواسب الكثبان لفعل التعرية الشديدة بحيث لا يتبقى منها سوى الرواسب التى تمثل قاعدتها ، فتعرف الرواسب المتبقية باسم *Grag and Tail Deposits* . وتشكل هذه الحالة الأخيرة معظم الرواسب الجليدية فى السهول المنخفضة الاسكتلندية ومن أهم المناطق التى تتميز بالكثبان الجليدية فى الجزر البريطانية شرق انجلترا وشمال الجزيرة الايرلندية .

كما تنتشر حقول الكثبان الجليدية فى شرق يوركشير وايست أنجليا بانجلترا، وتبدو هنا على شكل تلال بيضاوية الشكل يتروح ارتفاعها من ٥٠ إلى ١٠٠ قدم فوق سطح الأرض المجاورة . وقد يبلغ طول الكثيب الواحد منها نحو ١/٢ ميل وفى بعض المناطق قد تحتل الأجزاء الحوضية المقعرة التى تفصل بين هذه الكثبان الجليدية بحيرات ضحلة ، الا أنه فى بعض المناطق الأخرى تشغل هذه الأحواض المقعرة نباتات اللبد النباتى *(Peat)* .

الفصل الرابع والعشرون
أهمية الدراسة الجيومورفولوجية

اتسعت مجالات علم الجيومورفولوجيا فى الآونة الأخيرة وأصبحت تفيد غيرها من العلوم الأخرى (خاصة الجيولوجيا والجغرافيا وعلوم الأراضى والهندسة المدنية) بنتائج علمية مهمة تسهم بدورها فى تطور كل من الفكر العلمى والتقدم التكنولوجى . فمن المعلوم أن الجيولوجى يهتم بدراسة صخور قشرة الأرض ونظام بنائها والحفريات التى انطمرت فيها والتركيبات المعدنية التى تتألف منها ، أما الجيومورفولوجى فيربط بين هذه المعلومات (المستنبطة أساسا من الدراسات الجيولوجية) ، وظواهر سطح الأرض المختلفة وايضاح مراحل تطورها واختلاف أشكالها والعوامل الجيولوجية والجغرافية التى تؤثر فى تباين أشكالها وتوزيعها الجغرافى . وتساعد الخرائط الجيورمورفولوجية فى ابراز العلاقة المتبادلة بين نوع الصخر ونظام بنائه وعوامل التعرية المختلفة التى تعمل على تشكيل الصخر فى أجزاء سطح قشرة الأرض بظاهرات جيومورفولوجية متنوعة . ومن دراسة التحليل الجيومورفولوجى للرواسب الصخرية المختلفة فوق سطح الأرض ، تقدم الجيومورفولوجيا قاعدة معلومات مهمة للدراسات الجيولوجية ، تختص بنشأة هذه الرواسب والعوامل التى أدت إلى ارسابها والأزمنة التى ترسبت فيها ، ومن ثم يصبح من السهل على الجيولوجى أن يدرك الظروف المناخية التى كانت سائدة إبان عملية ارساب هذه المفتتات الصخرية ، وتتبع الخيوط الأساسية التى تلقى الضوء على مراحل التطور الجيومورفولوجى للمنطقة . ومن هنا ظهرت القرابة أو الصلة القوية بين كل من الجيولوجيا والجيومورفولوجيا ، وأصبح لزاما على الجيولوجى أن يلم الماما عاماً بأصول الجيومورفولوجيا ، حتى يتيسر له تفسير تكوينات قشرة الأرض والأدوار التى مرت بها خلال العصور الجيولوجية المختلفة .

وقد ساهم الجيومورفولوجيون فى تفسير المراحل المختلفة التى تشكلت خلالها ظواهر سطح الأرض خاصة منذ بداية عصر البلايوستوسين ، وايضاح الأرض المختلفة . وقد أفادت نتائج هذه الدراسات مناهج الجيولوجيا التاريخية وتطبيقاتها . بالاضافة إلى ذلك توضح الدراسات الجيومورفولوجية التوزيع الجغرافى للفرشات الارسابية والتى قد تكون بدورها بقاعا هامة تستغل معدنيا ، كما هو الحال فى استغلال خامات الذهب والفضة والرصاص والماس ، وعلى ذلك فقد ازدادت صلات الجيومورفولوجيا بالجيولوجيا الاقتصادية .

وفى الآونة الحديثة تضافرت كل من الدراسات الجيومورفولوجية والاقيانوغرافية فى تفسير الشكل العام لقاع المحيط وسواحله . فقد ساهم الجيومورفولوجيون فى دراسة أشكال السواحل والظواهر العامة التى ترتبط بها وتنوع هذه الظواهر من ساحل إلى آخر . كما أضافت الجيومورفولوجيا معلومات جادة تختص بالتوزيع الجغرافى للرواسب المختلفة فوق أرضية البحار والمحيطات ونشأة بعض الظواهر الجيومورفولوجية الكبرى التى تشكل قاع المحيط ورفرفه القارى . وعلى سبيل المثال لا الحصر السهول والحواجز ، والخوانق أو الخنادق والأخاديد المحيطية . بالاضافة إلى ذلك نجح الجيومورفولوجيون فى تفسير مراحل تذبذب مستوى سطح البحر واختلاف أبعاده وأشكاله خاصة منذ أواسط الزمن الثالث حتى الوقت الحاضر وذلك، بما قدمته من الأدلة الجيومورفولوجية فوق سطح اليابس نفسه (١) .

ويحاول الجيومورفولوجى فى دراسته إيضاح العلاقة المتبادلة بين كل من الصخر وعوامل التعرية وأن يحدد الأزمنة الجيولوجية التى تشكل خلالها هذا الصخر والظروف التكتونية والمناخية التى كانت سائدة خلال هذه الأزمنة المختلفة أو بمعنى آخر الاهتمام بدراسة مراحل تطور تشكيل الصخر وكيفية

---

(١) للدراسة التفصيلية راجع : حسن أبو العينين «دراسات فى جغرافية البحار والمحيطات» بيروت ١٩٦٧ ـ الطبعة الثامنة ـ الاسكندرية ١٩٨٩ .

تكوين ظاهرات جيومورفولوجية متباينة ، كما يهتم بدراسة توزيع هذه الظواهر وانتشارها فوق سطح الأرض ، ومن ثم فإن منهج الجيومورفولوجيا هو منهج جغرافى كذلك . وتساهم الجيومورفولوجيا فى بناء الفكر الجغرافى العام وتطوره ، بل هى بمثابة العمود الفقرى للدراسات الجغرافية حيث تسهم فى فهم وادراك معظم المشاكل والقضايا الاقتصادية والبشرية والسياسية .

ويتأثر الاستغلال الزراعى والرعوى لأقاليم سطح الأرض على مدى المعرفة بجيومورفولوجية هذه الأقاليم ، وخصائص سطحها ودرجة انحدراها وتنوع سمك الفرشات الارسابية المختلفة التى قد تغطيها . كما تعتمد الدراسات الحديثة فى علمى تخطيط المدن *Town Planning* واستغلال الأرض *Land Use* وكذلك اقامة المنشآت الصناعية والعمرانية على المعلومات التى تقدمها الأبحاث الجيومورفولوجية عن المعطيات الطبيعية لسطح الأرض .

ومن دراسة التطور الجيومورفولوجى لظواهر سطح الأرض وخصائص الرواسب الصخرية المختلفة ، وتمييز سمكها وأشكالها وأنواعها وتوزيعها الجغرافى ، تلقى الجيومورفولوجيا بعض الضوء الذى به تتضح خصائص الظروف المناخية القديمة ومراحل تذبذب هذه الظروف بين فترات باردة أو حارة وأخرى ممطرة أو جافة . وتفيد هذه المعلومات الجيومورفولوجية دراسات الجغرافيا التاريخية ، حيث يصبح فى الامكان دراسة البيئة الطبيعية التى كانت تمثل المسرح الطبيعى للحضارات البشرية القديمة ، بل وادراك أسباب اندثار بعض المدن القديمة واضمحلالها تحت الظروف الطبيعية المختلفة .

وعلى ذلك فلا نغالى عندما نقول أن هذا الفرع الجديد من الدراسة آن له الاوان أن يسجل قفزات سريعة فى سباق التطور العلمى فى الجغرافيا ، وأن يوالى تقدم المزيد من معلوماته ونتائجه الهامة لكل من أفرع الجغرافيا وبعض أفرع الجيولوجيا وخاصة بعد ان اتسعت قاعدة بيانات الجيومورفولوجيا المعاصرة وأصبحت تستعين بالنتائج والبيانات المستمدة من الأساليب الكمية

وتحليل الصور الجوية والمرئيات الفضائية ونظم المعلومات الجغرافية . ومن ثم فإن الجيومورفولوجيا المعاصرة لا تقدم لغيرها من العلوم الأخرى مفاهيم وصفية كيفية يشوبها الوصف الذاتى ، بل هى تقدم حلول إيجابية لقضايا مهمة فى الحياة العملية عن طريق تحليلها الكمى للمعلومات وباستخدام التقنيات الحديثة . ويشير الحديث التالى كذلك إلى بعض مما يمكن أن تقدمه الجيومورفولوجيا فى الحياة العملية .

أولا : أهمية الدراسات الجيومورفولوجية عند انشاء بعض المشروعات الهندسية :

يتوقف نجاح انشاء معظم المشروعات الهندسية على مدى الالمام بمعرفة التكوين الصخرى للمنطقة التى تقام عليها هذه المشروعات ، وأشكال سطحها ودرجة تضرسها ، بل ونوع الرواسب الظاهرية أو السطحية *Superficial Deposits* التى تشكل أجزاء سطح الأرض . ومن بين المشروعات الهندسية التى تستمد من الجيومورفولوجيا كثيرا من المعلومات هى :

١ - إقامة طرق السيارات :

على الرغم من أن الغرض الأساسى من انشاء طرق السيارات هو الربط بين مراكز عمرانية أو صناعية مختلفة إلا أن خطوط الطرق نفسها والتى تصل بين هذه المراكز يتشكل امتدادها واتجاهاتها تبعا لاختلاف التكوين الصخرى فى المنطقة ودرجة تضرسها ، وأشكال سطحها ونظم انحدارها . ويمكن القول أن لكل نوع من الأراضى خصائص معينة ، تحتم استخدام طرائق انشائية خاصة ، ووضع بعض الاحتياطات والوقاية اللازمة فى الاعتبار عند مد طرق السيارات فوق سطح الأرض .

وعلى سبيل المثال تحتاج طرق السيارات التى تنشأ فوق أراضى الكارست الجيرية إلى استمرار عمليات دك الأرض وحقنها Cut and Fill وردمها بمواد غير مسامية حتى لا تتعرض مواد ما تحت سطح الطريق لعمليات

الذوبان . وعندما يتعرض سطح الطريق فى هذه المناطق لفعل سقوط الأمطار الغزيرة تتجمع المياه عادة فوق الطريق فى حفر مستديرة تتسع وتتعمق تدريجيا بحيث يصبح من الصعب عبور السيارات أو العربات فوقها . ومن ثم كان لزاما اكتشاف مثل هذه الحفر وردمها بمواد صلصالية غير مسامية ، وحقن جوف الطريق وباطنه بمواد لا تتأثر كثيرا بفعل الذوبان . ويضع المهندسون المدنيون فى الاعتبار عند انشائهم الطرق البرية وعمل الجسور المختلفة فى مناطق الكارست الجيرية بأن تقام مثل هذه المنشآت فوق أراض صلبة تتحمل الثقل والضغط الواقع عليها من جهة ، والا تتعرض الصخور التى أنشئت فوقها للتآكل والتحلل بفعل عمليات الذوبان من جهة أخرى .

وعند اقامة طرق السيارات فى المناطق التى غطاها الجليد من قبل ، يواجه المهندسون مشكلات هندسية متنوعة ترجع أساسا إلى خصائص التركيب الصخرى لهذه المناطق . فعلى الرغم من أن المناطق المغطاة برواسب الطفل الجليدى والمستوية السطح تعد من أحسن المناطق لانشاء الطرق البرية إلا أنه فى الأجزاء التى تنتشر فيها رواسب الركامات النهائية والاسكر ومدرجات الكام والكثبان الجليدية ، تحتاج دائما لعمليات دك الأرض وحقن الفراغات الصخرية بالمواد الصاصالية غير المسامية حتى لا يتعرض سطح الطريق لفعل البهوط . ولا تصلح المناطق الجليدية التى تنتشر فوقها البحيرات لانشاء الطرق البرية فيها ، ويبذل المهندس المدنى مجهودات كبيرة ليتفادى اجتياز الطريق أو مده فوق هذه الأراضى ، وإذا لزم الأمر فلابد من تجفيف هذه البحيرات وردمها وحقنها بالمواد الصلصالية . واذا كانت الرواسب التى تقع أسفل الطريق تتألف من مواد صلصالية لزجة فقد ينجم عن شدة الضغط الواقع عليها انسياب الصلصال على جوانب الطريق ويختل توازن سطحه ويتعرض لعمليات الهبوط . وعلى ذلك يلزم حقن الطريق بمواد أخرى أقوى تماسكا حتى لا تتعرض اجزاء منه لعمليات الزحف أو النسياب اذا ما اشتد الثقل أو الضغط فوق الطريق .

أما فى المناطق الجبلية المرتفعة الشديدة التضرس ، فيواجه المهندسون المدنيون عند انشائهم الطرق البرية صعوبات خاصة ، حيث يصبح فى هذه الحالة ضرورة اقامة عديد من القناطر والجسور ، تؤدى بدورها على زيادة التكاليف الانشائية . وحيث تتميز الطرق البرية فى المناطق الجبلية بشدة انحدارها فهى ، تتعرض دائما لعمليات زحف التربة ، وانزلاق الأرض وتساقط الصخور . وينجم عن حدوث هذه العمليات هدم أجزاء كبيرة من الطرق البرية وسدها بالمفتتات الصخرية ، وهلاك أعداد غفيرة من البشر ، وردم القرى المجاورة . ومن ثم فمن الضرورى اتخاذ طرق الوقاية اللازمة عند انشاء الطرق البرية فى المناطق الجبلية ومنها :

(أ) تثبيت المواد الترابية على جانبى الطريق حتى لا تتعرض هذه المواد لعمليات الزحف البطئ .

(ب) حقن جانبى الطريق ببعض المواد حتى تنخفض نسبة الرطوبة فى التربة ، وعدم اتاحة الفرصة لحدوث عمليات الانزلاق الأرضى السريع .

(جـ) تعديل انحدار الطريق نفسه بحيث يصبح من السهل عبور السيارات والعربات فوقه .

(د) اختيار مد الطرق البرية فى المناطق البسيطة الانحدار وذلك بأن تتمشى اتجاهاتها موازية لخطوط الكنتور أو فوق المناطق العليا المستوية السطح لأراضى ما بين الأودية *Major interfluves* .

وقد روعى عند انشاء الطرق البرية فوق أراضى الدلتا بجمهورية مصر العربية أن يكون منسوبها أعلى من منسوب مياه الترع والقنوات المجاورة حتى لا تتأثر بحدوث الفيضانات العالية أو انسياب مياه تلك الترع والمصارف أسفل تكوينات الطرق البرية فتؤثر على سلامة السير على الطريق .

ويضع المهندس المدنى فى الاعتبار عند انشائه الطرق البرية عدة نقاط هامة تؤثر كثيرا فى عمر الطريق البرى *Lifetime of a highway* وهذه تتلخص فيما يلى :

(أ) منسوب المنطقة .
(ب) تضرس المنطقة .
(جـ) تنوع درجة انحدار السطح .
(د) وفرة المواد المحلية اللازمة لانشاء الطريق .
(و) موقع الطريق البرى بالنسبة لشواطئ البحار والبحيرات والمجارى النهرية الكبرى من ناحية أو وقوعه بجوار مناطق تتميز بالبراكين النشيطة وحدوث الزلازل .
(ز) خصائص تكوين مواد التربة التى تقع أسفل سطح الطريق .
(ع) خصائص المياه الجوفية فى المنطقة وكمياتها التقريبية وطرق مسالكها وانحداراتها الهيدروليكية ومدى أثرها فى اذابة معادن الصخور أسفل سطح الطريق .
(فـ) مدى تعرض الطريق لفعل التساقط ، خاصة سقوط الثلج مما يلزم بناء أسوار خاصة فى الاتجاه العام التى تهب منه الرياح حتى لا ينغمر الطريق تحت الثلج .
(ى) تأثر سطح الطريق بفعل عوامل التعرية والتجوية المختلفة .
(ص) حركة المواصلات فوق الطريق وثقل الضغط الواقع فوقه .
(م) أقصر الطرق البرية التى تصل بين المراكز العمرانية واقامتها بأقل تكلفة ممكنة .

٢ - تحديد مواقع السدود والخزانات :

عند انشاء السدود والخزانات يلزم دراسة المواقع التى ستقام فيها دراسة جيولوجية تفصيلية ، إلى جانب معرفة النظام المائى للمجارى النهرية نفسها حتى يمكن اتخاذ الوقاية اللازمة لحماية الخزان من التعرض للانهيار ، وتجنب المشاكل التكنولوجية الأخرى التى ترتبط بانشاء الخزان . وقد أوضح ثورنبرى *Thornbury* فى كتابه «مبادئ الجيومورفولوجيا» عام ١٩٥٨ خمس نقاط مهمة تؤخذ فى الاعتبار عند تحديد أنسب المواقع للخزانات المائية وهذه

تتلخص فيما يلى :

(أ) أن يقع الخزان فوق مجرى النهر فى منطقة حوضية ذات حجم مناسب .

(ب) أن يكون للمنطقة مخرج ضيق يتألف قاعه من صخور صلبة ، بحيث يصبح من السهل إقامة الخزان فوقها بتكاليف اقتصادية .

(جـ) أن يكون فى الامكان انشاء «مفايض» أو مخارج نهرية جانبية أخرى تعمل على تصريف المياه الزائدة اذا ارتفع منسوب المياه المخزونة عن أقصى حد لها .

(د) أن تتوفر المواد اللازمة لبناء الخزان بالقرب من موقعه (خاصة فى حالة انشاء السدود الترابية) .

(هـ) التأكد من الطول الزمنى لعمر الخزان ، وذلك بتحديد كميات الرواسب التى تتجمع سنوياً فوق قاع الخزان وتؤثر بدورها فى سعة الخزان .

واذا كان ضروريا بناء الخزان فى منطقة تتألف صخورها من الطبقات الجيرية العالية المسامية ، فيلزم أن يؤخذ فى الاعتبار خصائص التكوين الجيولوجى لهذه المنطقة ومعرفة الخصائص الطبيعية والكيميائية للصخور ، ثم عمل الاحتياطات واتخاذ الوقاية اللازمة حتى يمكن أن يبقى الخزان مشيدا أطول فترة زمنية ممكنة والا تتعرض المياه المخزونة خلف السد للرشح والانسياب على شكل مياه جوفية . وعند بناء خزان هولز بار *Holes Bar* على نهر تنسى *Tennessee* على بعد ١٢ ميلا إلى الغرب من شتانوجا *Chattanooga* فى الولايات المتحدة الأمريكية لم يعتن المهندسون فى بداية الأمر بدراسة جيولوجية المنطقة كما لم تتم فى نفس الوقت أعمال حفر كافية لتحديد الخصائص الطبيعية والمعدنية للصخور الجوفية . وخلال مراحل انشاء الخزان تكونت شقوق وصدوع كبيرة فى أرضية الخزان وجوانبه مما أدى إلى فشل المشروع هندسيا واقتصاديا . وقد كانت تكاليف المشروع تقدر فى البداية بنحو ٣ مليون دولار على أن يتم انشاؤه فى سنتين الا أنه تكلف فى الواقع ١٢ مليون دولاراً وتطلب ٨ سنوات حتى تم انشاؤه .

وعند انشاء الخزانات فى بطون الأودية النهرية بالمناطق التى تعرضت للجليد من قبل ، يلزم دراسة جيولوجية ما تحت السطح *Subsurface Geology* دراسة تفصيلية . فقد تبنى الخزانات فوق أودية نهرية مدفونة ، غمرتها الرواسب الجليدية مما يؤدى إلى تكوين شقوق فى أرضية الخزان تضعف من قوته وتقلل من استمرار قدرته على تخزين المياه ، وتعرض جسم السد نفسه لعمليات التصدع ثم الانهيار .

وقبل بناء السد العالى الذى يقع على بعد ٧ كيلومترات جنوبى سد أسوان الحالى ، درس المختصون موقع السد دراسة جيولوجية تفصيلية ، كما رسموا للمنطقة خرائط طبوغرافية ذات مقياس كبير ، حتى يمكن تحديد كل الظروف التى تمر بها مراحل انشاء الخزان ووضع طرق الوقاية للمشاكل الهندسية والتكنولوجية التى قد تتولد أثناء مرحلة البناء ، وقد اختير هذا الموقع فى جزء من مجرى نهر النيل يبدو على شكل شبه أخدود حيث ينحصر النهر بين جوانب جرانيتية حائطية عالية ، ويخرج النهر من تحت أقدام هذه الحوائط على شكل عنق ضيق عميق . وبالاضافة إلى قاع النهر وجوانبه الجرانيتية تتوفر كميات هائلة من الطين والرمال بجوار الموقع المختار ، وهذه تعد من المواد الأساسية الهامة التى تستخدم فى بناء الخزان .

٣ - اختيار مواقع المطارات :

عند اختيار أنسب المواقع لاقامة المطارات الجوية ، تتدخل عدة عوامل مختلفة بعضها جيولوجية أو جيومورفولوجية والأخرى جغرافية تؤثر فى تحديد هذه المواقع . فإلى جانب أهمية موقع المطار بالقرب من المدن الكبرى التى ترتبط بالنقل الجوى أو فى منطقة استراتيجية ذات موقع ممتاز بالنسبة للأغراض الحربية ، أو أخرى لا تتعرض كثيرا لحدوث الضباب ، فإن هناك بعض العوامل الجيومورفولوجية تؤثر فى اختيار هذا الموقع بل وفى أشكال أرضية المطارات ومدى اتساعها وامتدادها . وتتلخص هذه العوامل الأخيرة فيما يلى :

(أ) اختيار موقع المطار فوق منطقة سهلية مستوية السطح أو ذات انحدار

بسيط .

(ب) عدم احاطة الحدود الهامشية للمطار بمناطق مرتفعة قد تتسبب فى اصطدام الطائرات بها أثناء عملية هبوط الطائرات أو صعودها .

(جـ) امكانية انشاء ممرات الطائرات الرئيسة *Runways* فى اتجاهات مختلفة فوق أرض المطار السهلية .

(د) طبيعية التصريف النهرى والخصائص العامة للمياه الجوفية فى المنطقة حتى لا تؤثر سلباً على منطقة المطار .

(هـ) مدى امكانية تعرض أرضية المطار للفياضات النهرية والسيول .

(و) سهولة امداد المطار بما يلزمه من المياه والوقود والاحتياجات الأخرى من المناطق المجاورة له .

وتختلف أرضية المطار ومدى اتساعها وشكلها العام ، تبعا لخصائص صخور المنطقة التى ينشأ فوقها المطار ، ولذا يحسن أن نشير إلى الخصائص العامة للمطارات التى تنشأ فوق صخور جيولوجية مختلفة :

المطارات التى تنشأ فوق الرواسب الجليدية :

وتتميز بما يلى :

(أ) سهولة انشاء الممرات الرئيسة للمطار فى اتجاهات مختلفة .

(ب) يتأثر سطح المطار بخصائص التصريف النهرى فوق المناطق الجليدية ، وعلى ذلك تتخذ طرق الوقاية الهندسية اللازمة لتفادى المشكلات التى تنجم تبعا لتعرض أرضية المطار للتشقق . وفى هذه الحالة يلزم تبطين أرضية المطار وحقنها وخلط مواد ما تحت التربة *Subgrade* بمواد أخرى أكثر تماسكاً .

(جـ) يتميز سطح المطار باستوائه التام إلا إذا تشكل بالركامات الجليدية ، والاسكر والكام ، مما يلزم ازالة هذه الرواسب والقيام بعمليات تسوية الأرض ودكها وتبطينها .

(و) لا تتعرض مثل هذه المناطق السهلية كثيراً لأخطار الفيضانات .

(هـ) سهولة تزويد المطار بما يلزمه من المياه وذلك بواسطة الابار الارتوازية

التى قد تحفر بجوار أرض المطار .

المطارات التى تنشأ فوق السهول الفيضية :

وتتميز بما يلى :

(أ) يتوقف امتداد ممرات المطار الرئيسة واتجاهاتها واتساعها تبعا لمدى اتساع السهل الفيضى نفسه .

(ب) قد ينجم عن التصريف النهرى الذى يشكل السهول الفيضية ارتفاع منسوب المياه الجوفية واقترابه من سطح أرضية المطار .

(جـ) يتميز سطح المطار باستواء سطحه .

(د) قد يتعرض المطار لأخطار الفيضانات تبعا لقرب موقعه من المجارى النهرية الرئيسة . ومن ثم يلزم عادة بناء جسور صناعية تحيط بأرضية المطار لوقايته من الفيضانات العالية .

(هـ) من السهل امداد المطار بما يحتاج إليه من المياه وذلك اما بواسطة المجارى النهرية المجاورة أو باستخدام الابار الارتوازية التى قد تحفر فى طبقة الرواسب النهرية الفيضية المجاورة لأرضية المطار .

المطارات التى تنشأ فوق صخور الكارست الجيرية :

وتتميز بما يلى :

(أ) سهولة انشاء الممرات الرئيسة فوق أرضية المطار وفى اتجاهات متعددة .

(ب) يتعرض سطح المطار لبعض الأخطار الناجمة عن مشاكل الصرف حيث قد يتكون فوقه بعض الحفر الغائرة *Sinkholes* مما يلزم القيام بعمليات تبطين الأرض وحقنها ودكها .

(جـ) تتميز أرضية المطار باستواء سطحها وانحدارها التدريجى البسيط .

(د) يستبعد تعرض المطار لأخطار الفياضانات اذا أنجزت عمليات تبطين الأرض وحقنها ودكها بكفاءة .

(هـ) قد يواجه المطار بعض الصعوبات للحصول على المياه اللازمة للأغراض المختلفة ، وذلك يرجع إلى ارتفاع مسامية الصخور الجيرية

ويعد منسوب المياه الجوفية عن سطح الأرض .

المطارات التى تنشأ فوق السهول البحيرية :

وتتميز بما يلى :

(أ) سهولة انشاء الممرات الرئيسة فوق أرضية المطار فى اتجاهات متعددة .

(ب) يلزم اجراء عمليات تحقين الأرض ودكها وخلطها بمواد لزجة تساعد على تماسك التربة الحصوية ، أسفل سطح أرضية المطار .

(جـ) استواء السطح وانتظام انحداره العام .

(د) لا تتعرض أرضية المطار لأخطار الفيضانات ، كما أن الضباب قد يكون هو الآخر نادر الحدوث ، الا فى حالة وقوع المطار بالقرب من بحيرات كبيرة واسعة .

(هـ) قد يكون من الصعب تزويد المطار بما يلزمه من المياه وذلك لأن تكوينات الرواسب البحيرية لا تعتبر خزانات جيدة للمياه الجوفية .

ثانيا : أهمية الدراسات الجيومورفولوجية فى الجيولوجيا الاقتصادية

١ - البحث عن خزانات البترول :

الى جانب الانبثاق الطبيعى للبترول من جوف الأرض ، تساهم الأبحاث الجيولوجية والجيومورفولوجية فى كشف بعض خزانات البترول الكبرى .

وقد سجلت الدراسات الجيولوجية انتصارات هائلة فى الكشف عن خزانات البترول وذلك من الأدلة التى تستنبط من دراسة التكوين الصخرى ونظام بنية الطبقات وانشاء خطوط الكنتور تحت السطحية أو الجيولوجية *Structure or Sub-Surface Contours* والتى ترمز إلى مناطق الثنيات الصخرية المحدبة . وعلى ذلك أمكن تحديد مناطق خزانات البترول تبعا لتكوين الثنيات الصخرية المحدبة والتى تحتوى عادة على كميات كبيرة من البترول الذى يتجمع فوق الأجزاء العليا من قبابها .

وتساهم دراسة الظواهر الجيومورفولوجية لسطح الأرض على تفسير نوعية صخور جوف قشرة الأرض ونظام بنائها بل وتحديد مناطق الثنيات الصخرية المحدبة والمقعرة والتى قد يحتوى بعضها على زيت البترول . وعلى سبيل المثال دلت الدراسات الجيومورفولوجية للقباب الصخرية الملحية *Salt Domes* على تكوين زيت البترول فى حقول رانجلى *Rangely* وكلورادو *Colorado* وكاليفورنيا وتكساس فى الولايات المتحدة الأمريكية . وقد أكد فيكرى *Vickery* فى عام ١٩٢٧ أن هناك علاقة وثيقة بين ظواهر السطح الجيومورفولوجية التى ترمز إلى تكوين الثنيات الصخرية المحدبة وتكوين حقول بترول لوس أنجلوس *Los Angelos* وكاليفورنيا *California* (١) وأشار ليفرسن *Leverson* فى عام ١٩٣٤ (٢) أن معظم خزانات البترول ، تتكون عادة فى مناطق عدم التوافق بين الطبقات *Unconformities* . وحيث إن أسطح هذه الطبقات غير المتوافقة عبارة عن أسطح تحاتية قديمة مدفونة ، فيلزم المهندس الجيولوجى أن يلم الماما كاملا بكل ما يتعلق بجيومورفولوجية الظاهرات القديمة للسطح والمدفونة أسفل الطبقات العليا الحديثة *Buried Landscape* . فإذا تكونت أسطح عدم التوافق الطبقات فوق صخور مسامية تحتوى على كميات كبيرة من الرواسب فقد تتحول الأخيرة إلى زيت بترول تبعا لتعرضها لعمليات الضغط والتحلل مدة طويلة من الزمن الجيولوجى ولذا يرتبط وجود معظم الخزانات البترولية بمناطق عدم التوافق بين الطبقات الميوسينية .

وأضاف هوارد *Howard* فى عام ١٩٢٨ بأن أغلبية خزانات البترول

---

(1) Vickery, F P., "The interpretation of the physiography of the Los Angeles coast belt".
Amer Assoc. Petrolum Geol B. ll, 11 (1927), 417 - 424 .

(2) Leverson, A,., "Relation of oil and sag pools to unconfor-nites.." a chapter in "Probles of Petroleum geology".
Amer Association of Petroleum geology. (1934), 761 - 784.

تتكون فى صخور مسامية ترتفع بها نسبة الكربونات ، وتحلل موادها بسرعة اذا ما تعرضت لفعل التجوية الكيميائية (١) . وقد دلت الدراسات الجيومورفولوجية لحقول بترول تكساس وميتشجن وليما فى أنديانا ، بأنها تتركز فى مناطق تتألف من صخور جيرية هائلة السمك والمسامية .

وقد رجح هوارد أن مواد هذه الصخور تتعرض لفعل ذوبان بعض المواد المعدنية وتحلل المواد العضوية بفعل المياه الجوفية ، وتتكون فى النهاية خزانات البترول . وقد أكد كذلك أن تكوينات الحجر الجيرى الميوسينى التى يزيد سمك طبقاتها عادة عن عدة مئات من الأقدام قد تحوى على كميات كبيرة من البترول خاصة فى الأجزاء العليا من الطبقات الصخرية أما اذا كانت الطبقات رقيقة السمك فلا يساعد ذلك على احتمال تجمع زيت البترول بكميات كبيرة .

٢ - استغلال حقول الفحم :

لقد كان يظن أن طبقات الفحم التى تترسب فى صخور القشرة الأرضية لابد وأن يرتبط وجودها بطبقات العصر الكربونى . وحيث أن صخور هذا العصر الجيولوجى الأخير محدودة الأنتشار فوق سطح جمهورية مصر العربية ، لذا سادت الفكرة الخاطئة بأن الطبقات الصخرية فى مصر تخلو تماما من التكوينات الفحمية ، ولكن بفضل الأبحاث الجيولوجية والجيوفيزيقية فى الآونة الأخيرة تبين وجود الفحم بصخور العصر الجوراسى فى مصر .

وبدأت عملية الكشف الأولية فى منطقة عيون موسى على الساحل الغربى لخليج السويس ، إلا أن الفحم هنا لم يستغل حتى الآن استغلالا اقتصاديا وذلك يرجع إلى ارتفاع كمية المياه الجوفية فى صخور هذه المنطقة واختلاطها بطبقات الفحم ، وبالتالى اتجهت العناية إلى معرفة التوزيع الجغرافى للطبقات

---

(1) Howard. W V., "A classification of limestone reservoirs" Amer. Assoc. Petroleum. Geol. Bull. 12 (1927), 1153 - 1161.

الجوراسية فى مصر ، ثم دراسة كيفية ترسب صخورها *Disposition* خلال هذه الفترة الجيولوجية والخصائص الباليونتولوجية التى تميزها . ونجحت الأبحاث فى الكشف عن حقول الفحم فى الطبقات الجوارسية بمناطق المغارة والصفا والملحى فى شمال جزيرة سيناء .

ودلت الأبحاث الجيولوجية والجيومورفولوجية على تعرض صخور منطقة المغارة لحركات الرفع التكتونية خلال الزمن الثالث ، ونجم عن ذلك انثناء الطبقات الصخرية وتشكيل السطح بقباب صخرية أهمها قبة المغارة *Maghara Dome* . وحيث تتشعع طبقات الفحم من أعالى القبة إلى أطرافها الهامشية ، لذا تقترب من السطح كلما اقتربنا من أعالى القبة ، وتوجد على أعماق بعيدة فى مناطق الأطراف الجانبية الهامشية لقبة المغارة . وتبعا لذلك تختار مواقع مناجم الفحم بالقرب من أعالى القبة حتى تستغل طبقات الفحم القريبة نسبيا من سطح الأرض .

وقد تضافرت الأبحاث الجيولوجية والجيومورفولجية فى الكشف عن الفحم فى أجزاء متفرقة من أرض جمهورية مصر العربية ومن بينها بعض أجزاء بمنخفض الخارجة ، وهكذا أصبحت الفكرة القديمة التى كانت تؤكد عدم وجود الفحم فى صخورها غير صحيحة علميا . وقد ساهمت الدراسات الجيولوجية والجيومورفولوجية فى الكشف عن حقول الفحم فى بريطانيا ومعظم البلدان الأوربية وحقول الفحم فى الولايات المتحدة الأمريكية .

٢ - تمييز مواقع رواسب الخامات المعدنية واستغلالها اقتصاديا :

قد ينجم عن تجمع بعض رواسب الخامات المعدنية خاصة إذا كانت قريبة من السطح أو فوقه تكوين ظاهرات جيومورفولوجية خاصة ، وهذه الظاهرات إن دلت على شئ فإنما تدل على احتمال وجود معادن مختلطة بهذه الرواسب الصخرية . وعلى سبيل المثال فإن خامات الرصاص والزنك فى منطقة بروكين هيل *Broken Hill* بأستراليا تتكون فى رواسب تبدو على شكل حواجز صخرية بارزة فوق السطح . كما تكثر فى صخور منطقة سانتا بربارا *Santa*

Barbara بالمكسيك عروق الكوارتز البارزة بين أسطح الصخور ، وذلك يعزى إلى شدة صلابة الكوارتز عن غيره من الصخور الأخرى فى المنطقة مما يساعد على استغلاله استغلالا اقتصاديا .

وقد تتمثل بعض الخامات المعدنية على طول تجويفات مقعرة سطحية أو فى شقوق عميقة صخرية ، فمثلا توجد عروق الكلسيت فى منطقة أوتمان *"Oatman"* بأريزونا ، فى مناطق حوضية منخفضة تبعا لتعرض أجزاء من المنطقة لعمليات الهبوط الأرضى *Subsidence* . أما اذا تعرضت الخامات المعدنية أثناء عملية تأكسدها إلى الانكماش التدريجى فيطلق على تلك الرواسب المتبقية تعبير *Mineralization Slump* وتتمثل هذه الحالة فى بعض أجزاء متفرقة من سيرا موجادا *Sierra Mojade* ومرتفعات بيسبى وأريزونا .

واذا تصادف وقوع خام الحديد بالقرب من سطح الأرض ، فقد يؤدى إلى تكوين حافات وتلال صخرية ، حمراء اللون ، كما هو الحال فى حديد منطقة البحيرات (تلال مسابى وفرميليون) بالولايات المتحدة الأمريكية . وأصبح شائعا استخدام تعبير «السلاسل الجبلية الحديدية» *"Iron Ranges"* فى أحاديث سكان هذه المنطقة .

ودلت الأبحاث الجيومورفولوجية على أن نشأة الحديد الجيد بمنطقة سيرو بوليفار *Cerro Bolivar* بفنزويلا يرجع إلى عمليات التجوية التى استمر حدوثها مدة طويلة من الزمن ونجم عنها أكسدة بعض معادن الصخور واحلال خامات الحديد محلها فى الصخر .

ويرتبط التوزيع الجغرافى لمناطق الرواسب المعدنية التى تستغل أساسا بواسطة طريقة الغربلة ، بحسب انتشار مجموعات متنوعة من الرواسب والمفتتات أهمها الرواسب المفتتة الحصوية والرواسب الفيضية والرواسب الهوائية (بفعل الرياح) والرواسب الشاطئية والرواسب الجليدية ورواسب البجادة ورواسب أخرى توجد مدفونة أسفل الصخور الحديثة . ويتأثر تعدين

معظم الرواسب الموضعية بمدى تعرض الصخور ،خاصة عروق الكوارتز، لفعل التجوية . ويستغل معدن الذهب بواسطة غربلة رواسب التيلاس والرواسب الفيضية النهرية فى كاليفورنيا وأستراليا ونيوزيلند . ويتمثل الذهب فى عروق الكوارتز أو الكلسيت فى الصحراء الشرقية بجمهورية مصر العربية ، كما قد يوجد بكميات قليلة مختلطا بالرمال والحصى فى بطون بعض وديان الصحراء الشرقية . وتعدن بعض مناطق تعدين القصدير فى الملايو بتصفية الرواسب الحصوية الهوائية المفتتة *Colluvial* ويطلق عليها محلياً اسم كويليت *Koellits* ويعدن بعضها الآخر بواسطة غربلة الرواسب الفيضية النهرية *Alluvial* ويطلق عليها محليا اسم كاكساس *Kaksas* .

ويقدر بأن نحو ١/٣ بلاتين العالم يعدن أساسا من رواسب السهول الفيضية ، خاصة فى كل من الاتحاد السوفيتى وكولومبيا . ويمكن القول أن أهم المعادن التى تستغل بواسطة طريقة الغربلة من رواسب السهول الفيضية النهرية هى الذهب والقصدير والماس .

وقد تتغطى بعض الرواسب المعدنية برواسب أخرى أحدث عمرا ، ومن ثم تصبح مدفونة فى جوف الطبقات الصخرية ، ويستغل معدن الذهب بمرتفعات سيرا نيفادا وكلاماث *Klamath* فى كاليفورنيا بواسطة غربلة الرواسب الفيضية النهرية لأودية الأنهار القديمة المدفونة فى صخور الزمن الثالث . ومن ثم تحتم عند استغلال هذه المنطقة اقتصاديا دراسة التطور الجيومورفولوجى للمنطقة ومقارنة ظواهر السطح الحالية بتلك التى تكونت فى العصور الجيولوجية السابقة .

٤- تحديد مناطق المحاجر الرملية والصخرية التى يمكن استغلالها اقتصاديا :

أصبح للرمال فى الوقت الحاضر مجالات واسعة فى الحياة العملية حيث تستغل بصور مختلفة فى الأغراض الصناعية ، وأصبحت من مستلزمات مواد البناء وصناعة الزجاج والحراريات ، كما تستغل بعض الأكاسيد والفلزات المختلطة بها فى صناعة البويات والسنفرة وعمل السبائك المعدنية . وتختلف

التكوينات الرملية فيما بينها طبيعيا وكيميائيا من مكان إلى آخر تبعا لظروف نشأتها والعوامل التى أدت إلى تجمعها وارسابها . فمن المعلوم أن الرمال تتكون فى كل من أرضية السهول الفيضية ورواسب المدرجات النهرية ومناطق المراوح والمخروطات الفيضية ومناطق التيلاس المخروطية والفرشات الجليدية خاصة بتكوينات الكام والاسكر والطفل الجليدى والركامات الجليدية . وعلى ذلك تشكلت التكوينات الرملية بخصائص طبيعية وكيميائية مختلفة . وعلى سبيل المثال تتميز رمال السهل الفيضى باختلاطها بكميات كبيرة من الغرين *Silt* ويكونها غير متجانسة *"Heterogenous"* طبيعيا أو كيمائيا ، أما رمال المرواح الفيضية المخروطية فهى أكبر حجما وخشونة من رمال السهل الفيضى . ويتوقف الاستغلال الاقتصادى لمحاجر الرمال على مدى تجانسها وأنواعها حسب الغرض الذى تستخدم من أجله وسمك طبقات الرمال حتى يمكن أن يستغل محجر الرمال أطول مدة زمنية ممكنة .

وتعد رمال الرواسب الجليدية من أسهل المناطق الرملية من حيث استغلالها اقتصاديا وتنتشر فيها معظم محاجر الرمل والحصى *Sand and Gravel Pits* وذلك يرجع إلى زيادة سمك طبقات الرمال وتجانسها نسبيا .

وفوق سطح جمهورية مصر العربية تنتشر أنواع متباينة من التكوينات الرملية تختلف فيما بينها من حيث الشكل واللون والمصدر والتكوين المعدنى . فتتميز بعض رمال الغربانيات فى إقليم مريوط بلونها الأبيض تبعا لاحتوائها على كميات كبيرة من مفتتات المحارات البحرية الصغيرة . أما رمال الجزء الجنوبى من الصحراء الشرقية فى مصر فتتميز تكويناتها باللون الأحمر أو الأصفر تبعا لوجود أكاسيد الحديد حول حبيباتها أو اختلاطها بخام الكبريت . وتتميز محاجر الرمال فى منطقة الجبل الأحمر بالعباسية بلونها الأحمر تبعا لارتفاع نسبة أكاسيد الحديد بالتكوينات الرملية . أما رمال الصحراء الغربية فهى تتركب أساسا من الكوارتز وقد تتمثل فيها نسب بسيطة من معادن أخرى كالفلسبار والهورنبلد والميكا ، إلا أنه يغلب عليها اللون الأصفر . ويرجح أن

الجزء الأكبر من التكوينات الرملية بالصحراء الغربية يعزى إلى تفتت صخور الحجر الرملي النوبي والصخور النارية القديمة بفعل عوامل التعرية خلال مدة طويلة من الزمن الجيولجي ، وتستخدم هذه التكوينات الرملية تتميز بلونها الأبيض وبدرجة نقاوتها العالية فتستعمل في صناعة الزجاج (١) .

وتتميز الرمال التي تنتشر فيما بين رشيد ودمياط أو بمعنى آخر على طول خط قاعدة مثلث الدلتا في مصربلونها الأسود ، ولذا عرفت باسم الرمال السوداء . وتعتبر هذه الرمال مصدرا هاما لعدد من المعادن ذات القيمة الاقتصادية إذ تحتوي على نسب مختلفة من الألمنيت والروتيل والماجنيتيت والزركون والمونازيت والجارنت والتي تدخل في أغراض صناعية مختلفة . ويعزى المصدر الرئيسي لهذه التكوينات الرملية إلى حبيبات الرمال التي يلقيها نهر النيل قرب مصباته في البحر المتوسط ، ثم تعيد الأمواج هذه الرمال مرة ثانية إلى خط الساحل وذلك بعد امتزاجها بمواد معدنية جديدة ، وتتجمع الرمال على شكل فرشات سوداء واسعة الامتداد . وقد دلت الأبحاث كذلك على وجود هذه الرمال على طول بعض أجزاء من شاطئ العريش حيث تأتي بها بعض السيول التي تنحدر من هضبة التيه إلى البحر المتوسط .

وتمثل الطبقات الصخرية مصدرا هاما لأحجار البناء ، وتتنوع هذه الأحجار الأخيرة تبعا لتنوع صخور المنطقة التي تقطع منها . وعلى سبيل المثال تتميز أحجار البناء في مدينة لندن وضواحيها (خاصة إذا لم تتعرض للتجوية مدة طويلة من الزمن) باللونين الأبيض والأصفر ، حيث إنها تقطع من محاجر الصخور الجيرية والرملية التي تمتد حول ضواحي لندن . أما الأحجار المستخدمة في بناء معظم مساكن جنوب غرب يوركشير وإقليم برمنجهام بانجلترا فهي تقطع من طبقات الصخور الرملية الفحمية - *Coal Measures* ، الا أنها تكتسب بعد ذلك اللون الأسود تبعا لتعرض أسطحها لفعل التجوية ، وتشكيله بالأترية والغازات التي تنبثق من مداخن المصانع في مدن

---

(١) حسن صادق «الجيولوجيا» القاهرة (١٩٣٠) - ص ٦٨ .

انجلترا الصناعية .

وتستغل صخور البازلت من المحاجر الصخرية المصرية خاصة بمناطق الهرم وبنى سويف وأسيوط وقنا وادفو وأسوان حيث تستخدم فى رصف الطرق . ومن بين أحجار الزينة المصرية ، الرخام والجرانيت والألبستر وتستغل من مناطق مختلفة فى جمهورية مصر العربية منها محاجر الرخام بأجران الفول ووادى المياه (ادفو) ووادى عطا الله (قنا) ، وجبل حمرة شيبون (بنى سويف) ووادى سنور (بنى سويف) . كما يستغل الجبس بمنطقة البلاح فى محافظة الاسماعيلية ومنطقة الغربانيات الواقعة على بعد ٧٠ كيلو مترا غرب الاسكندرية حيث يوجد بهذه المنطقة كميات كبيرة من الجبس المحتوى على نسب عالية من كبريتات الكالسيوم التى تفيد التربة الزراعية وتساعد على تصفيتها من القلويات .

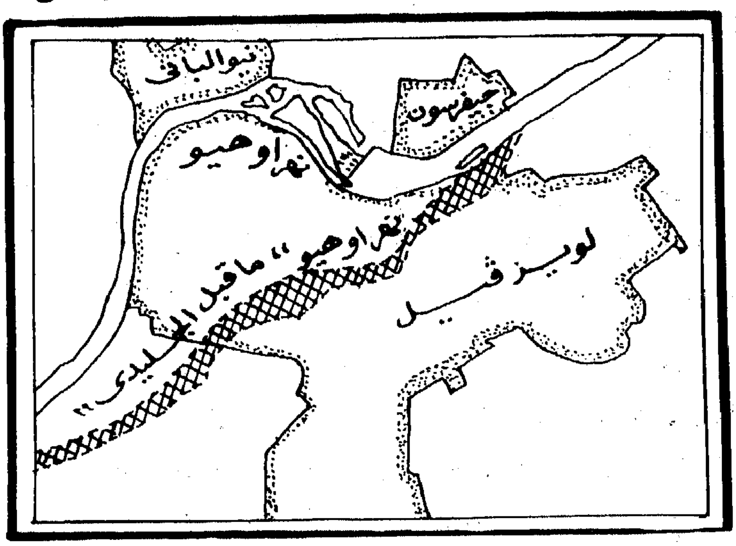
٥ - البحث عن المياه الجوفية :

تعتبر المياه الجوفية عصب الحياة وخاصة فى مناطق الصحارى الحارة الجافة وكذلك فى الصحارى الباردة . وقد سبق الحديث عن مظاهر المياه الجوفية وكيفية ظهورها من جديد فوق سطح الأرض . ويمكن القول أن هناك علاقة كبيرة بين ميل الطبقات الصخرية وشكل سطح الأرض من جهة ومدى عمق الآبار الارتوازية أو ظهور الينابيع من جهة أخرى . ففى المناطق الحوضية الضحلة مثل الواحات فى الصحراء الغربية المصرية يقترب سطح الواحة نسبيا من الطبقات الحاملة للمياه ، ومن ثم يمكن حفر الآبار الارتوازية على أعماق قريبة نسبياً من سطح الأرض .

وتعتبر الطبقات الصخرية الحاملة للمياه فى المناطق التى سبق أن غطت بالجليد البلايوستوسينى من قبل من بين أهم مصادر المياه اللازمة لكل من الاستهلاك المنزلى والأغراض الصناعية . فتعتمد أجزاء واسعة من كندا وشمال الولايات المتحدة الأمريكية على المياه الجوفية المخزونة فى الرواسب الجليدية البلايوستوسينية حيث تعد هذه الرواسب الأخيرة خزانات جيدة للمياه

الجوفية خاصة فى حالة كونها عالية المسامية ويقع أسفلها مباشرة طبقة صماء تمنع تسرب المياه الجوفية إلى الأعماق البعيدة فى جوف قشرة الأرض .

وتعتبر أودية ما قبل الجليد *Preglaciated Valleys* المدفونة أسفل الطبقات الجليدية البلايوستوسينية من المصادر المهمة للمياه الجوفية فى مناطق العروض الباردة وكثيرا ما تحفر فيها الآبار الارتوازية لاستغلال المياه الجوفية التى تتجمع فى جوف صخورها . ومن بين أظهر أودية ما قبل الجليد المدفونة التى كانت وما زالت تستغل استغلال اقتصاديا حيث يحصل منها على كميات كبيرة من المياه الجوفية ، بعض أجزاء من مجرى نهر أوهايو القديم ، التى ترجع نشأتها إلى فترة ما قبل الجليد ، ثم غطتها الرواسب بعد أن تغير اتجاه مجرى النهر وأصبحت مدفونة أسفل الرواسب البلايوستوسينية الحديثة . وقد أوضحت نتائج الدراسات الجيومورفولوجية على أن هذا الوادى (خاصة فى المنطقة التى تشغلها الآن مدينة لويز فيل *Louisville*) نشأ خلال فترة جليد إلينويان ، ثم غمر أسفل رواسب فيضية حديثة بلغ سمكها نحو ١٢٥ قدماً . وعملت الغطاءات الجليدية على تعديل التصريف النهرى فى المنطقة



(شكل ١٤٥) امتداد مجرى نهر أوهايو الذى يرجع إلى ما قبل حدوث الجليد فى منطقة مدينة لويز فيل

وغير النهر مجراه القديم (شكل ١٤٥) وأصبح المجرى الحالى لنهر أوهايو يمتد إلى الشمال مباشرة من مجرى النهر القديم . ويعد هذا المجرى الأخير أهم مصادر المياه الجوفية فى المنطقة حيث تمثل الصخور الارسابية الجليدية خزانات جيدة للمياه الجوفية ، وقد أقام المسئولون عدداً كبيرا من الآبار الارتوازية التى تساهم فى تغذية المدينة بما يلزمها من المياه الخاصة بالاستهلاك المنزلى .

ويلاحظ كذلك أن المياه الجوفية لنهر أوهايو القديم صالحة للشرب عن مياه النهر الحالى ، فبينما تبلغ درجة حرارة المياه الجوفية فى الصيف نحو ٥٧° ف، فإن متوسط درجة حرارة مياه النهر الحالى فى هذا الفصل تبلغ نحو ٨٥° ف . ومن ثم يشتد الطلب عادة على المياه الجوفية الباردة المنعشة خاصة فى فصل الصيف . وفى الآونة الأخيرة طلبت سلطات المدينة عدم استخدام المياه الجوفية لنهر أوهايو القديم خلال فصل الشتاء والاعتماد على مياه النهر السطحى الحالى فى الأغراض المختلفة هذا الفصل ، حتى يمكن تجميع كمية كبيرة من المياه الجوفية فى مجرى النهر الجوفى لتكفى حاجة الاستهلاك المحلى المتزايدة خلال فصل الصيف .

ثالثا : أهمية الدراسات الجيومورفولوجية فى الأغراض الحربية :

على الرغم من أن خبراء الجيشين الألمانى واليابانى لم يهتموا كثيرا بالاستعانة بما تقدمه نتائج الدراسات الجيومورفولوجية خلال الحرب العالمية الأولى ، الا أن المسئولين بالولايات المتحدة الأمريكية والمملكة المتحدة أدركوا القيمة الفعلية التى يمكن أن تستنبط من نتائج هذه الدراسات واستخدامها فى الأغراض الحربية . وقد أسهمت اللجنة الجيومورفولوجية العكسرية لقوات الولايات المتحدة الأمريكية بخدمات جليلة سواء أكان ذلك فى أرض المعركة نفسها أو فى معامل الجيش ، خاصة إبان الحرب العالمية الثانية .

وقد تضافرت مجهودات كل من المهندسين والجيولوجيين والجيومورفولوجيين فى اختيار مواقع تشييد المعسكرات المؤقتة فوق أرض

الصحراء الكبرى خلال الحرب العالمية الثانية واختيار أصلح المناطق لعمل الخنادق والمخابئ وفى عمليات شق الطرق ومدها وبناء الجسور واختيار أنسب مواقع المطارات فوق أرض الصحراء الليبية وشمال غرب أفريقيا . كما ساعد الجيومورفولوجيون ، فى عمليات اختيار أصلح المناطق لحفر الآبار الارتوازية للحصول على المياه الجوفية فى هذه البيئة القاسية .

وفى الوقت الحاضر جندت الولايات المتحدة الأمريكية مئات الخبراء الجيومورفولوجيين ، وهيأت لهم مكاتب مختلفة تنتشر فى معظم مناطق الولايات المتحدة الأمريكية ، وكلها تعمل تحت اشراف القوات المسلحة الأمريكية . ويتلخص العمل الرئيسى الذى تقوم به هذه المكاتب الجيومورفولوجية فى دراسة مناطق سطح الأرض المختلفة مع العناية بمناطق الصحارى الحارة الجافة . وقد تركزت الأبحاث الحقلية الجيومورفولوجية بصحارى أريزونا ونيفادا وكلورادو كما درست بقية صحارى العالم الحارة الجافة بواسطة تفسير الصور الجوية وتحليل المرئيات الفضائية (الإستشعار من بعد) . وقد أولى الجيومورفولوجيون عنايتهم إلى تصنيف الصحارى الحارة الجافة الأمريكية إلى أقاليم أو وحدات جيومورفولوجية متنوعة حسب اختلاف ظواهر السطح والتكوين الجيولوجى لكل منها ، ثم تصنيف صحارى العالم الحارة الجافة الأخرى إلى أقاليم جيومورفولوجية على نفس الأسس التى استخدمت عند تصنيف صحارى الولايات المتحدة الأمريكية وبالتالى يمكن تحديد أوجه الشبه والاختلاف بين الوحدات الجيومورفولوجية فى الولايات المتحدة الأمريكية مع غيرها فى أجزاء العالم الأخرى . ثم تتلخص الخطوة التالية فى أجراء الاختبارات والتجارب العكسرية فوق أرض الولايات المتحدة الأمريكية نفسها ، ومن بين أهم هذه التجارب والاختبارات مايأتى :

١ – امكانية اجتياز الأراضى وعبورها *Trafficabillity* .

٢ – مدى سرعة خطوات الجندى فوق كل من الأراضى الرملية الناعمة أو تلك الرملية الخشنة أو الحصوية أو الصخرية وعدد الساعات التى يمكن

أن يمشى فيها يومياً .

٣ - مدى تحمل الجندى مشاق السير والارتحال فوق الأراضى الصحراوية تحت ظروف المناخ القارى ليلا أو نهارا ، وخصائص ملابس الميدان المناسبة لهذا الغرض .

٤ - سرعة الدبابات والسيارات واللوريات فوق أجزاء الصحراء المختلفة (الرملية والحصوية وأرض البلايا والصخرية) .

٥ - أصلح الأراضى الصحراوية لمد الطرق البرية فوقها ، وخصائص كل طريق تبعا لتنوع التكوين الصخرى واختلاف انحداره وتموج سطحه .

٦ - أنسب المناطق لاقامة المطارات الموقتة .

٧ - أنسب المناطق لهبوط رجال المظلات .

٨ - تحديد المناطق الصالحة لاقامة المخابئ السرية وممرات ما تحت الأرض .

٩ - أحسن البقاع التى تحفر فيها الآبار الارتوازية للحصول على المياه الجوفية الصالحة للشرب ، وتنوع الخصائص الكيميائية للمياه الجوفية تبعا لاختلاف الصخور التى تغلغلت فيها المياه .

١٠ - الظروف البيئية التى تحيط بحرب العصابات وحروب الإستنزاف فى المناطق الجبلية والصحراوية .

وتجرى هذه التجارب عمليا فوق أراضى صحراء الولايت المتحدة الأمريكية وتسجل نتائج كل تجربة أو عملية حسب ظروف كل إقليم جيومورفولوجى ولما كان من الممكن مقارنة الأقاليم الجيومورفولوجية فى الولايات المتحدة الأمريكية بغيرها فى صحارى العالم الحارة الجافة الأخرى ، فيصبح من السهل كذلك التكهن بطبيعة أرض المعارك الحربية اذا ما أقيمت فى الأجزاء المختلفة من الصحارى ، ووضع الخطط السديدة التى يمكن بواسطتها التحكم فى سير المعارك الحربية فوق الأراض المختلفة فى العالم .

هذا فضلا عن التوصية باختراع آلات جديدة أو تعديل أجهزة وآلات

مستخدمة بحيث تناسب الظروف الجيومورفولوجية للعمل بها بكفاءة في المناطق المختلفة ، بل تتطرق الأبحاث إلى التوصية باختيار الملابس المناسب التى تناسب الظروف البيئية فى كل منطقة ، حتى تتيسر حركة الجندى ويؤدى عمله بكفاءة .

ولكى ندرك أهمية المعلومات الجيومورفولوجية الخاصة بأقاليم سطح الأرض المختلفة ، يكفى أن نذكر أن من بين أهم أسباب هزيمة نابليون فوق الأراضى الروسية عدم اهتمامه بالظروف الطبيعية لأرض المعركة ولنفس الأسباب تعزى هزيمة الجيش الألمانى فوق أرض الصحراء الليبية ابان الحرب العالمية الثانية .

يتبين من هذا العرض أن للدراسة الجيومورفولوجية أهمية كبرى ، ذلك لأنها تقدم المزيد من التفسيرات المهمة لغيرها من العلوم الأخرى ، إلى جانب استخدام هذه التفسيرات كذلك فى أغراض مختلفة سواء أكان ذلك فى وقت السلم أو وقت الحرب .

ومن ثم اهتمت معظم دول العالم بمتابعة التطور الحديث لدراسة هذا العلم ، والمساهمة فى عقد المؤتمرات الدولية لمناقشة بعض مشاكله والجديد فى أصوله وجوهره واستخدام التقنيات الحديثة وأساليب البحث العلمى المطورة بقصد اتساع قاعدة معلوماته ، وذلك فى سبيل تقدمه وازدهاره .

أهم المراجع

أولا : المراجع العربية

١ - حسن سيد أحمد أبو العينين (دكتور) «الدراسة الجيومورفولوجية، مناهجها وووسائل البحث الحديثة فيها .
مجلة كلية الآداب (جامعة الاسكندرية) - المجلد التاسع عشر (١٩٦٥) ص١٠٣ - ١٤٠ .

٢ - حسن سيد أحمد أبو العينين (دكتور) «أشكال التكوينات الرملية فى منطقة رشيد وضواحيها، مجلة الجمعية الجغرافية المصرية - العدد السادس - القاهرة (١٩٧٣) ص٧ - ٤٢ .

٣ - حسن سيد احمد ابو العينين (دكتور) «منطقة مرسى مطروح ، دراسة جيومورفولوجية، مجلة الجمعية الجغرافية المصرية - العدد الثامن (١٩٧٥) ص١-٣٤ .

٤ - حسن سيد أحمد أبو العينين (دكتور) «الملامح الجغرافية للصحراء الغربية فى ج. م. ع.، مجلة كلية الآداب - جامعة الاسكندرية - المجلد ٢٥ لعام (١٩٧١) ص١٨٣ - ٢٤٠ .

٥ - حسن سيد أحمد أبو العينين (دكتور) «التصريف المائى ومشرعات الرى فى لبنان، مجلة معهد الدراسات والبحوث العربية - عام (١٩٧٦) ص ٣٩ - ٩٤ .

٦ - حسن سيد أحمد أبو العينين (دكتور) «مواضع الحلات العمرانية فى السهول الشرقية لدولة الامارات، معهد الدراسات والبحوث العربية - سلسلة الدراسات الخاصة رقم ٣٠ (١٩٨٧) ١ - ٩٧ بالاشتراك مع أ. د. محمد مدحت جابر .

٧ - حسن سيد أحمد أبو العينين (دكتور) «السهول الساحلية فيما بين رأس دبا وخور كلبا على الساحل الشرقى لدولة الامارات العربية المتحدة،

الجمعية الجغرافية الكويتية رقم ١٢٢ (١٩٨٩) ١ – ٨٨ .

٨ – حسن سيد أحمد أبو العينين (دكتور) «الخليج العربي وتطوره الباليوجرافي» الجمعية الجغرافية الكويتية رقم ١٢٥ (١٩٨٩) ١ – ٥١ .

٩ – حسن سيد أحمد أبو العينين (دكتور) «حوض وادى دبا فى دولة الامارات .. جغرافيته الطبيعية وأثرها فى التنمية الزراعية» ادارة الأبحاث ـ جامعة الكويت (١٩٩٠) ١ – ٢٢٨ (مع ملخص بالانجليزية) .

١٠ – حسن سيد أحمد أبو العينين (دكتور) «السهول الساحلية الغربية فى دولة الامارات وأثرها فى مواضع بعض المدن فيها (أبو ظبى ودبى ورأس الخيمة)» ندوة الأبعاد الاقتصادية للتنمية فى دول مجلس التعاون للخليج العربى ـ جامعة الامارات العربية المتحدة العين ـ مارس (١٩٩٠) ١ – ١٤٨ .

١١ – حسن سيد أحمد أبو العينين (دكتور) «بعض الظاهرات التركيبية النشأة فى جبل حفيت» الجمعية الجغرافية الكويتية ـ ديسمبر (١٩٩٢) ١ – ٦٣ .

١٢ – حسن سيد أحمد أبو العينين (دكتور) «السهول الحصوية فى دولة الامارات ...» الجمعية الجغرافية الكويتية (١٩٩٥) العدد ١٧٦ ص ١ – ٥٦ .

١٣ – حسن سيد أحمد أبو العينين (دكتور) «جيومورفولوجية مروحة وادى بيح الفيضية ، شرق رأس الخيمة ، الجمعية الجغرافية الكويتية (١٩٩٥) ب .

١٤ – حسن سيد أحمد أبو العينين (دكتور) «الموارد المائية لمروحة وادى بيح الفيضية ودورها فى التنمية الزراعية ، الجمعية الجغرافية الكويتية (١٩٩٥) ج .

١٥ – حسن سيد أحمد أبو العينين (دكتور) «الأساليب العلمية فى الدراسات الجيومورفولوجية المعاصرة واتجاهاتها» ندوة الاتجاهات الحديثة فى علم الجغرافيا ٢٧ – ٢٩ نوفمبر (١٩٩٥) قسم الجغرافيا ـ جامعة

الاسكندرية . (بحث مقبول للنشر)

١٦ - حسن سيد أحمد أبو العينين (دكتور) «كوكب الأرض» الطبعة العاشرة - مؤسسة الثقافة الجامعية - الاسكندرية (١٩٨٨) ص ٥٩٥ .

١٧ - حسن سيد أحمد أبو العينين (دكتور) «أصول الجيومورفولوجيا» الطبعة الأولى - دار المعارف - الاسكندرية (١٩٦٦) ، الطبعة العاشرة - مؤسسة الثقافة الجامعية (١٩٨٩) ص ٨٠٦ .

١٨ - حسن سيد أحمد أبو العينين (دكتور) «دراسات فى جغرافية البحار والمحيطات» بيروت ١٩٦٧ . الطبعة الثامنة - الاسكندرية (١٩٨٩) ص ٦٧٧ .

١٩ - حسن سيد أحمد أبو العينين (دكتور) ، وسيد حسن شرف الدين «الاقيانوغرافيا الطبيعية» دار المعارف - الاسكندرية - ١٩٦٩ (لاتتعدى مشاركة د. حسن شرف الدين فى عمل هذا الكتاب عن ٢٪ من مضمون هذا الكتاب) .

٢٠ - حسن سيد أحمد أبو العينين (دكتور) «جغرافية العالم الاقليمية - آسيا الموسمية وعالم المحيط الهادى» مؤسسة الثقافة الجامعية - الاسكندرية - الطبعة العاشرة (١٩٩٠) ص ٩٠٧ .

٢١ - حسن سيد أحمد أبو العينين (دكتور) «دراسات فى جغرافية لبنان» بيروت - دار النهضة العربية ١٩٦٨ . الطبعة الخامسة (١٩٧٧) .

٢٢ - حسن سيد أحمد أبو العينين (دكتور) «لبنـان» دراسة فى الجغرافيا الطبيعية - بيروت (١٩٨١) ص ٦٨٥ .

٢٣ - حسن سيد أحمد أبو العينين (دكتور) «أصول الجغرافيا المناخية» الطبعة السادسة - الاسكندرية (١٩٨٨) ص ٥٦٢ .

٢٤ - حسن سيد أحمد أبو العينين (دكتور) «الألواح الجيولوجية ونظمها التكتونية» كتاب مترجم - الجمعية الجغرافية الكويتية - الكويت (١٩٨٨) ص ٢١٦ .

٢٥ - حسن سيد أحمد أبو العينين (دكتور) «عالم المحيط الهادى» بيروت -

الطبعة الثالثة (١٩٨٠) ص ٥٢٠ .

٢٦ - حسن سيد أحمد أبو العينين (دكتور) ،من الاعجاز العلمى فى القرآن، الجزء الأول - القرآن والجغرافيا الفلكيـة - مع ايات الله فى السماء - مطبعة العبيكان - الرياض (١٩٩٥) .

٢٧ - حسن سيد أحمد أبو العينين (دكتور) ،من الاعجاز العلمى فى القرآن، الجزء الثانـى - القرآن والجغرافيا الطبيعية - مع آيات الله فى الأرض . مطبعة العبيكان - الرياض (١٩٩٥) .

٢٨ - حسن صادق (دكتور) ،الجيولوجيا، القاهرة (١٩٣٠) .

٢٩ - د. خالد العنقرى ،الاستشعار عن بعد وتطبيقات فى الدراسة المكانية، دار المريخ - الرياض (١٩٨٦) .

٣٠ - د. على على البنا ،الاستشعار من بعد ..، الجمعية الجغرافية الكويتية - جامعة الكويت (١٩٨٣) - ١٣٢ .

٣١ - د. محمد اسماعيل الشيخ ،رصد الظواهر الأرضية والمتيورولوجية ، تأليف كلود باردنييه وتعريب محمد إسماعيل الشيخ . الجمعية الجغرافية الكويتية - نشرة رقم ٥٠ (١٩٨٣) ١ - ٥٢ .

٣٢ - د. محمد إسماعيل الشيخ ،الأقمار الصناعية والمناخ، تأليف ج . مونييه ، ب بانيى وتعريب محمد إسماعيل الشيخ - الجمعية الجغرافية الكويتية - نشرة رقم ٥٦ (١٩٨٣) ١ - ٥٢ .

٣٣ - د. محمد الخزامى عزيز ،الاستشعار عن بعد وتطبيقاته ...، حولية كلية الانسانيات والعلوم الاجتماعية - جامعة قطر (١٩٩٣) .

٣٤ - د. محمد صفى الدين ،قشرة الأرض، القاهرة (١٩٥٧) .

٣٥ - د. محمد صفى الدين ،مورفولوجية الرفارف القارية، مجلة كلية الآداب - جامعة القاهرة (١٩٦٠) ١ - ٥١ .

٣٦ - د. محمد عبد الله الصالح ،مرئية الاستشعار من بعد، مركز البحوث - جامعة الملك سعود - الرياض (١٩٩٢) ١ - ١١٢ .

٣٧ - د. محمد متولى موسى ،وجه الأرض، القاهرة (١٩٤٥) .

٣٨ – د. نبيل سيد امبابى ، ومحمود عاشور ،الكثبان الرملية فى شبه جزيرة قطر، الدوحة ـ الجزء الأول (١٩٨٣) والثانى (١٩٨٥) .
٣٩ – د. يحى عيسى فرحان ، الاستشعار عن بعد وتطبيقاته، الجزء الأول ـ الصور الجوية ـ عمان (١٩٨٧) .
٤٠ – د. يحى محمد أنور ،الجيولوجيا الطبيعية والتاريخية، دار المعارف (١٩٦٥).

ثانيا : المراجع الأجنبية

1 - Abou el-Enin, H. S. "The geomorphology of the Moss Valley" M.A. Thesis, Univ. Sheffield, (1962).

2 - Abou el-Enin, H. S. "Some periglacially modified surface forms....." Geog. Soc. Univ. Sheffield, (1962) .

3- Abou el-Enin, H. S. "Some aspects of the drainge evolution of the Moss Valley.....".

North.Univ. Geographical Journal, Birmingham, No. 5 (1964), 54-54 .

4-Abou el-Enin, H. S. "An examiation of the evolutiom of surface forms .... with a particular reference to the Quaternary Era".

Ph. D Thesis, Univ Sheffield (1964).

5- Abou el-Enin, H. S. "Glacial and associated features - in southwest Yorkshire".

Bull of Faculty of Arts. Univ (1966)., p. 17-33.

6- Abou el-Enin, H. S. "Definition, classification of cuesta features and their development in the Maghara District-".

Bull. Soc Geog d, Egypte, vol. 39 (1966). 477-192.

7- Abou el-Enin, H. S. "characteristic and evolution of the drainage pattern in the Maghara District ...".

Bull. Soc. de Geog. d'Egypte vol. XLIV (1971), 25-51.

8- Abou el-Enin, H. S. :"Investigation of some peri-glacially modified surface freatures...".

Bull. Fac. Arts, Alex . Univ. vol. XXV (1971), 1-25

9- Abou el-Enin, H. S. "Re-examination of some gritstone tors..."

Bull. Fac.Arts. Alex. vol. XXV (1971), 27-53

10- Abou el-Enin, H. S. " Essays on the Geomorphology of the Lebanon"

It is comprised of (7) papers

Beriut Arab. Univ. (1973), 1-314.

11- Abou el-Enin, H. S. "Rock-weathering in Jabal Hafit, to the south of Al-Ain city U.A.E."

Kuwait, Geog. Soc. no. 153(1993), 1-36.

12 - Anderson, M.G., "The role of topography..." Earth Surface Processes, 3 (1979), 331-334.

13- Anderson, M.G. "Modelling hillslope soil water status during drainage". Trans. Instit. British Geographers, 7: (1982), 337-353 .

14- Ball, A.P. et al, "Thunderstorms developing over northwest Europe as seen by Meteosat..." Weather, 34 (1979), 141-147.

15- Barrett, E.C. and Martin, D.W., "The use of Satellite Data in Rainfall Monitoring"Academic Press (1981) .

16- Batty, M, "Microcomputer Graphics : Art design and creative modelling Chapman and Hall (1986)

17- Boulton, G.S. et al, "Direct measurement of a glacier" J. Glaciol. 22(1979), 3-24.

18- Carson, M.A., and kirkby, M.H., "Hillslope forms and process" Cambridge Univ. Press (1972).

19- Clarke, J.I and Orrell, K., "An assessment of some morphometric methods" Dept Geog.-Durham Univ. Occasional Papers series, No. 2 (1958) .

20- Chorley, R.j. "Group operator Variance in morphometric work with maps" Amer. J. Sci. 256 (1958), 208-218.

21- Chorley, R.j. "The application of statistical methods to geomorphology", In essays in Geomorphology, G.H. Dury (ed.) London(1966) 275-388.

22- Chorley,R.j., et al, "Cartographic problems in stream Channel delineation" Cartography, 7(1972), 150-162.

23- Coppock, T "Geography and public policy" Trans. Instit. Brit. Geographers, 63 (1974), 1-16.

24- Coppock, t., "Retrospect and prospect; a personal view" in Handling Geographical information (ed.) by Ian Masser, Longman (1991). 283-285.

25- Cooke, R.,U., "Laboratory simulation on salt weathering"Earth Surface Processes, 4 (1979), 347-359.

26- Crowther, J., "Limestone solution..." in Geographical approach to fluvial processes" A.F. Pitty (ed.), 1979, 31-50.

27- Cowen, D., "GIS vs. DBMS: What are the difference? in the proceeding of the Second Internatioal Conference on GIS", edited by Nikko, H, San Franciso (1987), 26-3 .

28- Curran, P.J., "Principles of Remote Sensing", Longman (1985)

29- Davis, W.M., "The geographical cycle" Geog. J. 14 (1899) 484-54.

30- Davis, W.M., "The geographical cycle in arid climate"Jour. geol. 13 (1905), 381-407 .

31- Do E., "Handling geographic information" H.M.S.P. London (1987)

32- Doornkamp J. C. and King C.A.M., "Numerical analysis in geomorphology", London, Edward Arnold (1971).

33- Dury, G.H., "Map interpretation" a Pelican Book, London (1952)

34- Dury, G.H., "Bankfull discharge : an example of its statistical relationships", Int. Assn Sci. Hydrol. Bull. 5(1961), 48-55.

35- Dury, G.H., "Relation of morphometry to run off frequancy" in Water, Earth and Man, R.J. Chorley (ed) 1969, 419-43 .

36- Fischer, M.M., "GIS ..." Spinger - Verlag (1993)

37- Fitzgerald, B.P., "Development in geographical methods" Oxford Univ. Press (1978).

38- Gardiner, V., "Slope maps...." Bacon Area 10 , (1978), 205-28 .

39- Goudie, A.S., "Enviromental Change", Oxford Clarendon Press (1977) .

40- Goudie, A.S. et al, "Geomorphological Techniques" George Allen and Unwin, London (1981) .

41- Hall, D.K., and Martinac, j., "Remote Sensing of Ice and Snow" Chapman and Hall, N.Y. (1986) .

42- Hammond, E.H., "Small Scale Continental landform maps" Ann. Assoc. Amer Geog. Vol. XLIV (1954), 33-42 .

43- Hammond, E.H., "Procedures in descriptive analysis of terrain", Final Report, Wisconsin Univ. (1958) .

44- Harvey, D., "Explanation in Geography", Edward Arnold, London(1969) .

45- Jensen, J. et al, "Remote Sensing...." Photogrametric Engineering and Remote Sensing" 52 (1986), 87-10 .

46- Jones, A.V., "Image processing for scaning microscopists", Scan Ele. Micro. (1978), 13-26.

47- Johnston, R.J., "Geography and Geographers", Edward Arnold, 3rd ed (1987)

48- Kairu, E.N., "An Introduction to Remote Sensing", Geog.

Jour.(1982), 251-260.

49- King. C.A.M., "Beaches and coast"Arnold, London (1972)

50- Kirkby, M.J., "A study of rates of erosion..." Unpub. Ph. D. Thesis, Univ. Cambridge (1963)

51- kirkby, M.J., "Measurment and theory of soil creep" J. Geol. 75(1967), 359- 379.

52- Kun, T.S., "The structure of scientific revolutions" Chicago Univ. Press (1962).

53- Maguire, D.J. et al, "Production of a Census Atals by Computer" Bull. Soc. Univ. Cartographers, 11 (1984), 17-24.

54- Maguire,D.J, "Computers in Geography", London , (1989), 1-248.

55- Mahmoud, S, et al, "Landsat Linement of the Northern Red Sea..." Proc. Egypt. Acad. Sci. Vol. 38(1988), 13-52 .

56- Masser, I. and Blackmore M., Handling Geographical Information.." Longman (1991) 1-312 .

57- Melton, M.A., "Geometric properties of nature drainage system.." J. Geol. 66 (1958), 25-54 .

58- Miller, C.V., "Photogeology", Mc-Graw Hill, N.Y. (1961).

59- Miller, J.P., "Solutes in small streams..." I.S. Geol. Survey, Water Supply Paper 1533-D(1961) .

60- Millington, A.C., and Townshend, J.R.G., "The Potential of Satellite Remote sensing for geomorphological investigations" in Gardiner, V. (ed.) International Geomorphology, Wiley (1986), 331- 342 .

61- Naser. A. and Yehia, M., "Using landsat TM Data in supervising terrian", Inter . Symposium - Operationlization of Remote Sensing" April (1993), 159-165 The Netherland .

62- Pitty A.F.,"Introduction to geomorphology", London (1971)

63- Robinson, A.H., et al "Elements of Cartography" 5 th edn. Wiley.N.Y. (1984).

64- Savigear, R.A.G., "A technique of morphological mapping" Ann. Assn. Amer. Georg.55 (1965), 514-539.

65- Scheidegger, A.E., "The algebra of stream-order number" U.S. Geol. Surv. Professional Paper 525-B (1965), 187-189

66- Schumm, S.A., "Drainage basin morphology", Benchmark Papers in Geology,41 (1977) Pennsylvania .

67- Smith, D.M., "The newblood " scheme and its application to Geography", Area, 17 (1985), 237-243 .

68- Smith T. et al ".. Large - scale GIS." Inter . Journ. GIS I(1987), 13-31 .

69- Sparks , B.W., "Geomorphology" London 1 st ed. (1961) .

70- Strahler, A.N., "Quantitive slope analysis" Geol. Soc. Amer. Bull. 67 (1956), 571-596.

71- Strahler, A.N., "Quantitative analysis of watershed geomorphology" Trans. Amer. Geoghs. U. 38 (1957), 916-930.

72- Strahler, A.N., "Quantitative geomorphology of drainage basin.." In Handbook of Applied Hydrology", V.T. Chow (ed.) N.Y. (1964) .

73- Suguira, R. and Sabins F., "The evolution of 3 cm wave length Radar for mapping surface deposits in the Bristole Lake.." Mojave Desert, Radar Geology, TPL. Passedena, Claifornia, (1980), 439-456.

74- Thornbury, W.D., "Principles of Geomorphology" N.T. (1958)

75- Tricart, J. and Cailleux,"Introduction à la geomorphologie

climatique", Paris (1965) .

76- Wallace, W.H., "New Zealand Landforms" N. Zealand Geographer, Vol. II No.I (1955) .

77- Waters, R.S. "Morphological Mapping", Geography, 43(1958), 10-17.

78- Watson, M.K., "The soul of geography" Trans. Insit. Brit Geogr. N58 (1983) 385-99

79- Wilson, A.G., and Benneth, R.J., "Mathematical Methods.." John Wiley (1985).

80- Wooldridge S.W and Morgan. R.S., "Geomorphology"London (1960)

81- Wrigley, N. et al,"Quantitative Geography" London (1981).

82- Zeuner, F.E. "The Pleistocene Period", London (1959) .

83- Verstappen, H., "Remote Sensing in Geography", Elsevier Sci-Publ. Amsterdam (1977).

فهرس محتويات الكتاب

الباب الثالث

فعل التجوية وتحرك المواد وتشكيل

منحدرات سطح الأرض

الباب الرابع

فعل المجارى النهرية والمياه الجوفية

فى تشكيل سطح الأرض

فهرس الأشكال التي وردت بالكتاب

الرقم | (أولا) الخرائط والأشكال التوضيحية | الصفحة

الرقم		الصفحة
١٦ -	مؤشرات مدى فعل التعرية فى العالم - فى المناطق الجبلية (حسب دراسات كوربل)	١٤٠
١٧ -	مؤشرات فعل التعرية فى العالم - فى المناطق السهلية - حسب دراسات كوربل)	١٤٣
١٨ -	دليل التضرس أو العلاقة بين مقدار حجم الرواسب ومقدار فصلية المطر (حسب دراسات فورنيه)	١٤٤
١٩ -	مدى فعل عوامل التعرية فى مناطق العالم المختلفة (حسب دراسات فورنيه)	١٤٦
٢٠ -	تزحزح نطاقات الأقاليم المناخية خلال فترة الفيرم ومقارنتها بالفترة المناخية الحالية (حسب دراسات بيدل ١٩٥٧)	١٥١
٢١ -	مدى فعل التعرية فى العالم (حسب دراسات ستراخوف)	١٥٣
٢٢ -	الظواهر الجليدية الكبرى خلال فترة الامتداد الأكبر (حسب دراسات ستراخوف)	١٥٥
	١ - مناطق لم يغطها الجليد ٢ - بحار ٣ - غطاءات جليدية بلايوستوسينية ٤ - جليد بحرى ٥ - أهم مناطق الحقول الثلجية ٦ - جليد المرتفعات الجبلية ٧ - القارات والرفارف القارية	
٢٣ -	الأقاليم المناخية وأهم الرواسب خلال فترة الباليوجين (حسب دراسات ستراخوف)	١٥٦
	١ - رواسب فحمية ٢ - مناطق حارة جافة ٣ - مناطق حارة جافة فى نصف الكرة الجنوبى ٤ - قشرة سطحية كونتها التجوية وعوامل التعرية ٥ - رواسب الهالوجين ٦ - نباتات باردة قديمة مكتشفة ٧ - رواسب البوكسيت ٨ - خام الحديد ٩ - خام المنجنيز ١٠ - الحدود الفاصلة بين المناطق المعتدلة	

الرقم الصفحة

الرقم | الصفحة

الرقم		الصفحة

الرقم | الصفحة

(ثانيا) فهرس اللوحات

رقم الايداع بدار الكتب والوثائق القومية
٩٦/٢٢٤٥

بتاريخ : ١١/١/٩٦

الترقيم الدولى I.S.B.N
977- 5009 - 25

*** تم بحمد الله ***

تم بحمد الله إعداد وطبع كتاب أصول الچيومورفولوچيا بمطبعة الإنتصار لطباعة الأوفست مع عمل جميع مراحل التجهيزات الفنية من طباعة الأوفست أفلام ومونتاج وكذلك مراحل الطباعة الملونة والهافتون أبيض وأسود والتجليد الفاخر، ليخرج هذا الكتاب فى أحسن إخراج ويعد بصمة من الأعمال الفنية النادرة لمطبعة الإنتصار.

مطبعة الإنتصار لطباعة الأوفست

١٠ شارع الوردى كوم الدكة

تليفون ٤٩١٦٥٩٧ / ٤٩٢٥٣٩٣

مع تحيات محمد صبرى